

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-303874

(43)Date of publication of application : 02.11.1999

(51)Int.Cl.

F16C 33/32

C22C 38/00

C22C 38/22

F16C 33/62

(21)Application number : 10-111527

(71)Applicant : NIPPON SEIKO KK

(22)Date of filing : 07.04.1998

(72)Inventor : TANAKA SUSUMU  
YAMAMURA KENJI  
OHORI MANABU

(30)Priority

Priority number : 09 99436  
10 40847Priority date : 16.04.1997  
23.02.1998

Priority country : JP

JP

(54) ROLLING MEMBER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an inexpensive rolling device improved in fretting resistance, acoustic performance, corrosion resistance, service life and workability.

SOLUTION: In a rolling device composed of an outer member, an inner member and a plurality of rollers interposed between the former two members, in which the rollers roll on a first contact surface that is the surface of the outer member making contact with the rollers, and on a second contact surface that is the surface of the inner member making contact with the rollers, at least one of the outer member, the inner member and rollers is made of a steel alloy containing  $\leq 1.5$  wt.% of C,  $\geq 10$  wt.% and  $\leq 20$  wt.% of Cr,  $\geq 0.1$  wt.% and  $\leq 0.8$  wt.% of Mn,  $\geq 0.1$  wt.% and  $\leq 1.0$  wt.% of Si, and  $< 0.2$  wt.% of N.

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 06.04.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-303874

(43) 公開日 平成11年(1999)11月2日

(51) Int.Cl. <sup>5</sup>	識別記号	F I	
F 1 6 C 33/32		F 1 6 C 33/32	
C 2 2 C 38/00	3 0 2	C 2 2 C 38/00	3 0 2 Z
			3 0 2 E
	38/22		38/22
F 1 6 C 33/62		F 1 6 C 33/62	
		審査請求 未請求 請求項の数1	FD (全 37 頁)

(21) 出願番号 特願平10-111527

(22) 出願日 平成10年(1998)4月7日

(31) 優先権主張番号 特願平9-99436

(32) 優先日 平9(1997)4月16日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平10-40847

(32) 優先日 平10(1998)2月23日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004204

日本精工株式会社

東京都品川区大崎1丁目6番3号

(72) 発明者 田中 進

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(72) 発明者 山村 賢二

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(72) 発明者 大堀 學

神奈川県藤沢市鶴沼神明一丁目5番50号

日本精工株式会社内

(74) 代理人 弁理士 稲葉 良幸 (外2名)

(54) 【発明の名称】 転動部材

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 耐フレッチング性、音響性能、耐食性、寿命及び加工性が改善された安価な転動装置を提供する。

【解決手段】 外方部材、内方部材及びこの間に配設された複数の転動体からなり、該転動体が、外方部材の転動体への接触面である第1の接触面とこれに対向する内方部材の転動体への接触面である第2の接触面とに対して転動する転動装置において、上記外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、重量%で、C ; 1.5%以下、Cr ; 1.0%以上2.0%以下、Mn ; 0.1%以上0.8%以下、Si ; 0.1%以上1.0%以下、N ; 0.2%未満を含有する合金鋼からなる転動装置。

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 外方部材、内方部材及びこの間に配設された複数の転動体からなり、該転動体が、外方部材の転動体への接触面である第1の接触面とこれに対向する内方部材の転動体への接触面である第2の接触面とに対して転動する転動装置において、上記外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、重量%で、C；1.5%以下、Cr；10%以上20%以下、Mn；0.1%以上0.8%以下、Si；0.1%以上1.0%以下、N；0.2%未満を含有する合金鋼からなる転動装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明が属する技術分野】この発明は、HDD（ハードディスクドライブ）やVTRのような精密機器、食品機械、航空機、工作機械、半導体関連機器等に使用される転がり軸受、また直動案内軸受、またボールねじ装置等の転動装置に係わり、材料組成を改良することにより耐フレッチング性、音響性能、耐食性や加工性などに優れた特性を持つ転動装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】一般に、転がり軸受用の材料として、軸受鋼であればSUJ2が、ステンレス鋼であればSUS440Cあるいは13Cr系のマルテンサイト系ステンレス鋼が、また肌焼鋼であればSCR420やSCM420相当の鋼材が使用されている。転がり軸受は高面圧下で繰り返しせん断応力を受けて用いられるため、そのせん断応力に耐えて転がり疲労寿命を確保するべく、軸受鋼には焼入・焼戻しが、ステンレス鋼には焼入・サブゼロ・焼戻しが、また肌焼鋼は浸炭または浸炭窒化後に焼入・焼戻しが施されて、HRC58～64の硬度が実現されている。

【0003】しかし、これら転がり軸受の使用環境は多種多様であり、軸受鋼を用いたのでは、海に隣接した地域における塩害により、あるいは水や海水の侵入、または湿潤その他の腐食環境下での暴露あるいは使用により早期に発錆するおそれがある。

【0004】そこで、腐食性環境下で使用されるような、また、特に発錆を避ける必要がある転がり軸受にあっては、耐食性に優れるとともに軸受に必要な硬度HRC58以上を有するステンレス軸受鋼として高炭素Crマルテンサイト系のSUS440C等が従来より使用されている。

【0005】また、各種スピンドル、又は各種スピンドルモータの搬送上、及びHDD装置等のスイングアーム用等で使用される転がり軸受にあっては、優れた回転・音響性能及び耐フレッチング性を有し、トルク変動が小さいことが要求される。しかし、従来のステンレス鋼には10μmを超える粗大な共晶炭化物が多数内在するために、目標とする加工精度が得られにくく、例えば、音響性能が軸受鋼製のものに比較して劣る傾向にある。

【0006】そこで、特に磁気ディスクを回転駆動するのに使用され、回転・音響性能が要求されるスピンドルモータには、上記の理由により、軸受鋼製の転がり軸受が使用されることが多い。これに対し、磁気ディスクの有効エリアへのアクセス位置決めを行うスイングアームを駆動するのに使用されるスイングアーム用の転がり軸受は、揺動条件下で使用されるため、転動体と軌道輪の間に油膜が形成され難く、フレッチング摩耗によりトルク変動やトルクスパイクが生じ、HDD装置の読み取り機能に障害を引き起こすことがある。

【0007】したがって、スイングアーム用の転がり軸受には、耐フレッチング性が良好な高炭素Crステンレス鋼が使用されることが多く、近年では、回転・音響性能が改良された13Cr系のマルテンサイト系ステンレス鋼が、HDD装置等のスイングアーム等で用いられる転がり軸受用のステンレス軸受鋼として使用されることが多い。

【0008】これに対して、案内レールとスライダからなる直動案内軸受装置や、ねじ軸とナットからなるボールねじ装置の場合、これらに使用される耐食性を持つステンレス材料として、JIS-SUS440Cまたは13Cr系のマルテンサイト系ステンレス鋼（炭素含有量0.6～0.7%）、さらにはJIS-SUS630等の析出硬化型ステンレス鋼が使用されている。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】転がり軸受の場合  
前記のような高炭素Crステンレス鋼においては、C、Crの含有量が多いとき、例えばCを0.6重量%を超えて含有すると多量のCrとあいまって10μmを超える粗大な共晶炭化物が多数形成されるようになり、これらが転動部材の疲労寿命、靱性、耐食性等を低下させるだけでなく、鍛造性、切削性等の加工性をも劣化させるという問題があった。

【0010】さらに、粗大な共晶炭化物の存在は、軸受の音響性能にも悪影響が及ぼすことがある。音響性能とは軸受が作動中に発生する信号により生じる騒音の少なさを指すもので、HDD装置のような振動を極度に嫌う精密機器に使用される比較的小型のステンレス製転がり軸受の場合は大きな問題となることが多い。

【0011】すなわち、軸受において発生する振動は、その外輪、内輪または軸体、転動体の形状的な精度に大きく依存する。そのため、粗大な共晶炭化物が存在するような材料を軸受に使用した場合には、その粗大な炭化物が軸受を仕上げ加工する際に目標となる精度の達成に対する阻害要因となり、さらに回転作動中においても基地と共晶炭化物との間に摩耗差が生じて粗さ等の精度低下要因となり、さらに、接触面でこれらの炭化物が相互に干渉しあって、その結果騒音が増大する。

【0012】このように粗大共晶炭化物は、軸受の音響性能を低下させるだけでなく、応力集中源となって疲労

寿命をも低下させ、さらには靱性、耐食性等の劣化を招く。

【0013】したがって、SUS440C等の高炭素Crマルテンサイト系ステンレス鋼はステンレス鋼として十分な耐食性、機械的強度を有していないばかりか、音響性能も著しく劣り、更にコストも高いため、腐食環境下で使用される軸受や各種スピンドル、又は各種スピンドルモータ、およびHDD装置用スイングアームなどで用いられる転がり軸受には、好適に使用することはできなかった。

【0014】また、これらの転がり軸受は接着剤で固定されることが多く、防錆油が付着していると接着強度が低下したり、防錆油がこれと化学反応して錆びの原因となったり、さらにはアウトガスが発生してこれがディスク表面に付着してHDD装置の信頼性を低下させる等の種々の問題があるため、完全脱脂される場合が多く、このため転がり軸受にはステンレス鋼の方が好ましいとされている。しかし、ステンレス鋼はSUJ2等の軸受鋼にくらべて、コストが高いばかりか、SUJ2に比べて耐食性、耐フレッチング性は良好ではあるものの、粗大な共晶炭化物が多数内在するために、目標とする加工精度が得られにくい。また、軸受の音響性能がSUJ2製のものに比較して劣る傾向にあるため、高い回転・音響性能が要求されるスピンドルモータ用の転がり軸受に使用することは難しかった。更に、各種スピンドル用の転がり軸受においても、スピンドルの運送上および運転中における耐フレッチング性について、さらなる改善が求められてきている。

【0015】特公平5-2734号公報には、C、Crの含有量を低減することにより共晶炭化物の形成を抑制して、音響性能、疲労強度等を著しく改善したマルテンサイト系ステンレス鋼製の転がり軸受けが開示されている。しかし、これは炭化物の大きさの点でSUJ2に比較して劣っており音響性能が劣るばかりかコストに対する配慮がなされておらず、更に該公報にはHDDスイングアーム用転がり軸受の要求特性である耐フレッチング性に関する事柄が全く明示されておらず、また加工性に対する記述が全くなされていない。

【0016】さらに、特開平6-117439号公報には、内輪、外輪の両方があるいは一方をマルテンサイト系のステンレスで構成し、転動体を軸受鋼で構成することによってコストダウンをはかり、音響性能を向上させる試みがなされているが、この発明も、軌道輪に使用されたステンレス鋼が特公平5-2734号に記載されているマルテンサイト系ステンレス鋼と同一のものであるため、音響性能がSUJ2等の軸受鋼に比較して劣っており、内輪、外輪及び転動体すべて軸受鋼製の転がり軸受には音響性能の点で及ばなかった。また、この公報にも特公平5-2734号と同様HDDスイングアーム用転がり軸受の要求特性である耐フレッチング性に関する

事柄が全く明示されておらず、加工性に対する記述が全くなされていない。

【0017】また、上記両従来技術とも特に耐食性を要求される場合では、対策が必ずしも十分とはいえない。

【0018】直動案内軸受装置、ボールねじ装置の場合リニアガイド装置のように、使用される部品がスライダやレールのように複雑な異形断面形状である場合には、素材はできるだけ完成品形状に近い形状まで冷間異形引抜き加工されることが多いため、難加工性であるステンレス鋼では変形抵抗や加工硬化が大きい。このため、異形引抜きに多大な時間と費用を要し、比較的加工性の良好なSCM420やSCR420等の肌焼鋼やS45CやS53C等の機械構造用炭素鋼に比べて著しく高コストになるなどの問題があった。

【0019】特に、SUS630等の析出硬化型ステンレス鋼は非常に高耐食性ではあるが、溶体化処理した状態でもHRC33~36程度の硬度を有することから極めて冷間加工性に乏しく、部品製造コストが非常に高コストとなり、原子力関連等の特殊な分野を除いてはあまり使用されないのが現状である。

【0020】そこで、近年では難加工性であるSUS440Cの炭素、Cr含有量を低減化し、冷間異形引抜き加工性を改良した13Cr系の高炭素マルテンサイト系ステンレス鋼が使用されるようになってきた。しかし、この材料においてもまだ改善効果が不十分で、金型が早期に欠けたり、手直しが必要になるなど、問題は十分に解消されていなかった。

【0021】さらに、従来の高炭素マルテンサイト系のステンレス鋼では、異形引抜きした際、加工硬化して減面率の最も大きい溝にそって、縦に時効割れが生じることがあり、引き抜いた後にすぐに焼戻しするなど、特に注意を払う必要がある。

【0022】また、上記転がり要素をもつ直動案内装置は転がり軸受と同様にしばしば高面圧下で繰り返しせん断応力を受けて用いられるため、そのせん断応力に耐えて転がり疲労寿命を確保するべく、その製造にあたっては、成形後に焼入れ処理を施して表面硬度を高めることが行われる。従来の焼入れ方法としては、真空中でずぶ焼入れを行う方法と、高周波焼入れを行う方法とが周知であるが、前者では、部品全体を高温にした後に急冷を行うので、部品形状が異形、長尺である程部品全体の冷却速度にアンバランスが生じて、その結果大きな変形や曲がり、ねじれを生じてしまうことがある。

【0023】一方、後者の高周波焼入れを行う方法の場合、部分的に焼入れ硬化を施すことは焼入れコイルの設計で容易に行うことができ、且つ部品全体に熱を加える必要がないので、焼入れ時の変形や曲がり、ねじれ等も少なく済み、心部等の非硬化層が十分軟質であるため、その変形等の矯正もし易いという利点がある。そのため、リニアガイド装置を構成するレールやスライダ等

の部品のうち、特に異形、長尺のものにあつては、焼入れは後者の高周波焼入れによることの方が多い。

【0024】しかし、従来のステンレス鋼では機械構造用炭素鋼に比較して炭素の拡散速度が小さく、さらに凝固過程で生成した粗大な共晶炭化物が基地中に溶け込み難いこともあつて、高周波焼入れによる短時間加熱では、焼入れ硬化層深さが得られ難い。また、高周波出力や焼入れ速度等により深い硬化層深さを得ようとする炭化物の溶け込み過ぎによってMs点が低下してマルテンサイト変態が抑制されて未変態オーステナイトが多量

10 残留することにより表面硬化が得られなくなったり、硬さにむらが生じたりするといった問題もあった。また、従来のステンレス鋼は焼入れ方法によらず粗大共晶炭化物が多数内在するために、それが応力集中源として作用し、転動疲労寿命を低下させたり、また、十分な耐食性を有していないといった問題もあった。

【0025】特開平2-310342号公報や同3-138335号公報は冷間鍛造用マルテンサイト系ステンレス鋼とその製造法を開示しているが、これらのステンレス鋼は固溶あるいは析出強化に寄与する炭素の含有量

20 が不足しているばかりか、転動疲労寿命、耐摩耗性、耐食性等に好適な影響を及ぼす窒素が含有されていないため、高面圧で繰り返し疲労を受ける軸受用途に対しては十分でない。

【0026】また、リニアガイド装置やボールねじ装置は短いストロークで繰り返し往復運動される動作を伴うので、転がり軸受と同様に耐フレッチング性が必要である。

【0027】特に厳しい耐食性等の条件下で使用される

30 もの場合（転がり軸受、直動案内軸受装置、ボールねじ装置に共通する課題）

転がり軸受け、直動案内軸受装置、ボールねじ装置等の上記転動装置に、特に耐食性が要求される場合には、これらのステンレス鋼や軸受鋼、さらには浸炭あるいは浸炭窒化処理した肌焼鋼に硬質Crめっき、フッ化レゾント、その他各種表面皮膜処理したものが用いられている。しかし、転がり軸受においては表面近傍で疲労と摩耗などの損傷を受けて、このような母相と不連続の皮膜ではすぐに脱落してしまい、十分な耐久性が得られないといった問題がある。

【0028】一方で、ドイツ特許3901470号には、炭素を窒素で置換することにより、今までにない非常に高耐食性かつ高機能なマルテンサイト系ステンレス鋼を得ることが開示されており、このようなステンレス鋼は近年、欧州を中心に盛んに論文発表されている（Proceeding of International Congress Stainless Steel '96（p42～p46）等）、（材料名 Cronidur 30またはX30 等）。

【0029】一般的に、ステンレス鋼における窒素添加は主にオーステナイト系のステンレス鋼で実施されてお

り、マルテンサイト系のステンレス鋼においては窒素の溶解度が小さく、多量に窒素が含有されると、凝固過程で気泡が生じ、インゴットに多量の気孔が導入されて素材の健全性が損なわれるといった問題もあり、これまで研究も活発でなくほとんど実用化に至っていなかった。

【0030】これに対し、前記ドイツ特許は数十気圧という窒素雰囲気中の圧力容器の中で製鋼を行なうことにより、0.3%を超える窒素の合金化を可能にしたものである。しかし、言い換えれば圧力容器の中で製鋼を行なう必要があり、製鋼過程が特殊となるため、設備投資あるいは生産性の面でコストアップは避けられないといった問題もあった。

【0031】また、航空機用または比較的高温で使用される耐食軸受に用いられる材料は、耐食性だけでなく高温寿命等に優れていることが必要であるが、上記ドイツ特許に記載の材料ではこの点でまだ改良の余地があつた。

#### 【0032】本願発明の目的

本願発明は、既述の課題を解決した転動装置を提供することを目的とするものである。

【0033】本願発明の他の目的は、優れた耐食性を有する材料組成にさらに良好な加工性を付与するべく材料組成の改良を行い、転動寿命はもとより、耐フレッチング性、音響性能等の機能に優れ、腐食環境下で使用されるような軸受やHDD装置で特に組立工程中で転がり軸受を軸に接着剤により接着を行うもの（従って耐食性を要するもの）等に好適に使用できる転がり軸受、特に玉軸受を安価に提供することにある。

【0034】本願発明のさらに他の目的は、転動寿命はもとより、耐フレッチング性に優れ、また耐食性に格段に優れ、腐食環境下または高温で使用でき、しかも加工性に優れ安価に提供可能なリニアガイド装置やボールねじ等の軸受装置を提供することにある。

【0035】本願発明のさらに他の目的は、比較的耐食性については考慮しなくてよい場合で、構成部品の組合せを最適化することにより、転動寿命・耐フレッチング性、及び音響性能等の機能に優れる転がり軸受、特に玉軸受をより低コストで提供することにある。

【0036】本願発明のさらに他の目的は、特に厳しい耐食性等の環境下で使用されるのに好適な転がり軸受、リニアガイド、ボールねじ等の転動部材を提供することにある。

#### 【0037】

【課題を解決するための手段】本願発明者らは、外方部材、内方部材及びこの間に配設された複数の転動体からなり、該転動体が、外方部材の転動体への接触面である第1の接触面とこれに対向する内方部材の転動体への接触面である第2の接触面とに対して転動する転動装置において、上記外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、重量%で、C；1.5%以下、Cr；10%以

上2.0%以下、Mn; 0.1%以上0.8%以下、Si; 0.1%以上1.0%以下、N; 0.2%未満を含有する合金鋼からなる転動装置により、既述の目的を達成することができることを見出した。

【0038】特に、本発明の転動装置は、上記外部部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、さらに詳細な目的等に応じて下記(1)～(6)から適宜選ばれる少なくとも一種の材料から構成されることを特徴とするものである。

【0039】まず、特に低コストで、耐食性に優れ、さらに音響特性、耐フレッチング性、あるいは加工性に優れるものとして以下の(1)～(3)がある。

【0040】(1)重量%で、C; 0.6%以下、Cr; 1.0%以上1.4%以下、Mn; 0.1%以上0.8%以下、Si; 0.1%以上1.0%以下、N; 0.2%未満、Mo; 0.5%以下、V; 0.2%以下、残部Feおよび不可避成分を含有し、さらに、炭素とCr含有量の関係が $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ 且つ、素材のフェライト化を促進する元素の含有量を示す所定の関係式eq1及び素材のオーステナイト化を促進する元素の含有量を示す所定の関係式eq2をそれぞれに、次式(eq1)= $Cr\% + Si\% + 1.5Mo\% + 3.5V\%$ 、(eq2)= $C\% + 0.83N\% + 0.12Mn\%$ とし、両式の相互関係と炭素と窒素の総含有量が、 $(eq2) \geq 0.04 \times (eq1) - 0.39$ 、 $eq1 \leq 14.0$ 、 $eq2 \leq 0.8$ 、 $C+N \geq 0.45\%$ を満足するマルテンサイト系ステンレス鋼(本発明鋼I)。

【0041】(2)硬さHRC57以上で二次硬化能を有し、完成品の表面層に転動体径Daの2%以下の窒化層を有している鋼(本発明鋼II)。

【0042】(3)重量%でC; 0.30～0.45%、Cr; 1.05～1.35%、Mn; 0.1～0.8%、Si; 0.1～1.0%、N; 0.05～0.19%、C+N; 0.5%以上、残部Fe及び不可避成分を含有し、静粛性、耐食性に優れるマルテンサイト系ステンレス鋼(本発明鋼III)。

【0043】なお、上記(1)、(3)あるいは高Crマルテンサイト系ステンレス鋼による転動部材と組み合わせて使用されることにより、耐フレッチング性あるいは音響特性に効果のある部材の材料として(4)がある。

【0044】(4)重量%でC; 0.8%以上1.5%以下、Cr; 0.1%以上2.0%以下、Mn; 0.1%以上1.5%以下、Si; 0.1%以上1.0%以下、残部Feおよび不可避成分を含有する特定高炭素鋼。

【0045】次に、特に厳しい耐食性等を要求され使用される転動部材の材料として以下の(5)、(6)がある。

【0046】(5)重量%でC; 0.45%以下、Cr; 1.5%以上2.0%以下、Mn; 0.1%以上0.8%以下、Si; 0.1%以上1.0%以下、N; 0.05%以上0.2%未満、Mo; 0.5%以上3.0%以下、さらに、Ni; 1.5%以下、Cu; 2.0%以下および残部Feおよび不可避成分を含有し、CとCr含有量の関係が $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ 且つ素材のフェライト化を促進する元素の含有量を示す所定の関係式eq1及び素材のオーステナイト化を促進する元素の含有量を示す所定の関係式eq2をそれぞれに、次式

$$(eq1) = Cr\% + Si\% + 1.5Mo\%$$

$$(eq2) = C\% + 0.83N\% + 0.12Mn\% + 0.05Ni\% + 0.02Cu\%$$

とし、両式の相互関係と炭素と窒素の総含有量が、

$$(eq2) \geq 0.04 \times (eq1) - 0.39, C+N \geq 0.4\%$$

さらには耐孔食性指標PI値= $Cr\% + 3.3Mo\% + 30N\% - 45C\%$ が10.0以上を満足するマルテンサイト系ステンレス鋼(本発明鋼IV)。

【0047】(6)重量%でC; 0.45%以下、Cr; 1.5%以上2.0%以下、Mn; 0.1%以上0.8%以下、Si; 0.1%以上1.0%以下、N; 0.05%以上0.2%未満、Mo; 0.5%以上3.0%以下、さらにNi; 1.5%以下、Cu; 2.0%以下、Co; 1.0%以上7.0%以下、V; 1.0%以下及び残部Fe及び不可避成分を含有し、Mo+V; 0.8%以上4.0%以下、Co+Ni; 2.0%以上8.0%以下、CとCr含有量の関係が $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ 且つ素材のフェライト化を促進する元素の含有量を示す関係式eq1及び素材のオーステナイト化を促進する元素の含有量を示す関係式eq2をそれぞれに、

$$(eq1) = Cr\% + Si\% + 1.5Mo\% + 3.5V\%,$$

$$(eq2) = C\% + 0.8$$

$3N\% + 0.12Mn\% + 0.05(Ni + Co)\% + 0.02Cu\%$ とし、両者の相互関係とCとNの層含有量が、 $(eq2) \geq 0.04 \times (eq1) - 0.39$ 、 $(eq2) \leq 0.8$ 、 $C+N \geq 0.4\%$ 、さらには、耐孔食性指標PI値= $Cr\% + 3.3Mo\% + 30N\% - 45C\%$ が10.0以上を満足するマルテンサイト系ステンレス鋼(本発明鋼V)更に、本願発明の好ましい形態としては、以下のような態様を挙げることができる。

【0048】(イ)外輪、内輪又は軸体、及び外輪と内輪又は軸体との間の複数個の転動体を含む複数の転動部材からなる転がり軸受において、上記転動部材の少なくとも一つが上記ステンレス鋼(1)からなる転がり軸受。

【0049】(ロ)前記転動体が高炭素Crマルテンサイト系ステンレスからなる上記(イ)の転がり軸受。

【0050】(ハ)外輪、内輪又は軸体、及び外輪と内

輪又は軸体との間の複数個の転動体を含む複数の転動部材からなる転がり軸受において、外輪、及び内輪又は軸体が前記特定高炭素鋼(4)からなり、また、転動体が高Crマルテンサイト系ステンレス鋼からなる転がり軸受。

【0051】(ニ) 転動体がN; 0.05重量%以上0.2重量%未満含有した高Crマルテンサイト系ステンレス鋼からなる上記(ハ)の転がり軸受。

【0052】(ホ) 外輪、内輪又は軸体、及び外輪と内輪又は軸体との間の複数個の転動体を含む複数の転動部材からなる転がり軸受において、上記外輪、及び内輪又は軸体が、重量%で、C; 0.45%以下、Cr; 12.0%以上13.5%以下、Mn; 0.1%以上0.8%以下、Si; 0.1%以上1.0%以下、N; 0.05%以上0.5%以下、C+N $\geq$ 0.5%、Mo; 3.0%以下の上記二次硬化鋼(2)からなり、前記窒化層には粒径2.0 $\mu$ m以下の微細炭化物が分散してなる転がり軸受。

【0053】(ヘ) 転動体がセラミックスからなる上記(ホ)の転がり軸受。

【0054】(ト) 外輪、内輪又は軸体、及び外輪と内輪又は軸体との間の複数個の転動体を含む複数の転動部材からなる転がり軸受において、上記転動部材の少なくとも一つが炭化物の粒径を2.0 $\mu$ m以下、面積率が5%以下とした上記ステンレス鋼(3)からなる転がり軸受。

【0055】(チ) 前記ステンレス鋼(3)が、O $\leq$ 20ppm、Ti+0.1Al $\leq$ 50ppm及びS $\leq$ 100ppmの少なくとも一つを満たしている上記(ト)の転がり軸受。

【0056】(リ) 外輪、及び内輪又は軸体の少なくとも一つが上記ステンレス鋼(3)からなり、転動体上記特定高炭素鋼(4)からなる転がり軸受。

【0057】(ヌ) 外輪、及び内輪又は軸体の材料が炭化物の粒径が2.0 $\mu$ m以下、面積率が5%以下であり、転動体と、外輪、及び内輪又は軸体との少なくとも一方(好ましくは両方)がO $\leq$ 20ppm、Ti+0.1Al $\leq$ 50ppm及びS $\leq$ 100ppmの少なくとも一つを満たしている上記(リ)の転がり軸受。

【0058】(ル) 案内レール、スライダ及び複数個の転動体を含む複数の転動部材からなる直動案内軸受装置、またはねじ軸、ナット及び複数個の転動体を含む複数の転動部材からなるボールねじ装置において、上記転動部材の少なくとも一つが上記ステンレス鋼(1)からなり、特に、該ステンレス鋼(1)においてC+N $\leq$ 0.7重量%である直動案内軸受装置あるいはボールねじ装置。

【0059】(オ) 転動体との転動面が、高周波焼入れによる焼入硬化層を有する上記(ル)の直動案内軸受装置あるいはボールねじ装置。

【0060】(ワ) 外方部材、内方部材及びこの間に配

設された複数の転動体からなる転動装置において、上記外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、前記ステンレス鋼(5)(本発明鋼IV)からなる転動装置。

【0061】(カ) 外方部材、内方部材及びこの間に配設された複数の転動体からなる転動装置において、上記外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、前記ステンレス鋼(6)(本発明鋼V)からなる転動装置。

【0062】

#### 【発明の実施の形態】 転がり軸受の場合

##### 第1の実施形態

本願発明者等は、先に特願平7-271111号(特開平9-287053号)において、粗大共晶炭化物が形成されないC、Cr濃度の関係を見出し、耐食性に悪影響を及ぼす鋼中の炭素濃度を低下させ、その代わりに炭素と同様の固溶強化作用がある窒素を添加することにより、(1)粗大共晶炭化物の形成を抑制できること、

(2)窒素付加により耐食性が飛躍的に向上すること、

(3)窒素が析出強化、固溶強化に作用し、硬さ、耐摩耗性を向上させること等により、軸受に好適に使用できるマルテンサイト系ステンレス鋼を発明するに至った。

【0063】しかし、この発明は軸受の機能を向上させることのみにより留まり、コスト上非常に重要度の高い加工性及びHDDスイングアーム用軸受の要求特性である耐フレッチング性等については言及されていない。

【0064】そこで、本願発明者らは生産性を向上させ、低コスト且つ高機能な軸受用ステンレス鋼を開発すべく、合金成分の影響について鋭意に研究を行った。その結果、炭素含有量を低減化して、代わりに窒素を添加することによって粗大かつ硬質の共晶炭化物を消失させて微細な球(玉)状の炭化物・窒化物とし、さらに、その他のSi、Mn、Cr、Mo、V等の含有量のあるしきい値内に抑えることによって、焼鈍後の硬さが増加するのを抑制でき、かつ飛躍的に加工性が向上し高機能且つ安価なステンレス鋼製の軸受を提供でき、さらに、軌道輪側に本材料を、転動体側に高炭素Crマルテンサイト系ステンレス鋼を用いることによって、単一素材の場合よりもさらに耐フレッチング性が向上し、HDDスイングアーム用軸受等に好適に使用できる転がり軸受を提供できることを見出し、本願発明をなすに至った。

【0065】すなわち、この転がり軸受は、外輪と、内輪または軸体と、外輪と内輪または軸体との間の複数個の転動体からなる複数の転動部材から構成され、上記転動部材の少なくとも一つが、重量%で、C; 0.6%以下、Cr; 10%以上14%以下、Mn; 0.1%以上0.8%以下、Si; 0.1%以上1.0%以下、N; 0.2%未満、Mo; 0.5%以下、V; 0.2%以下、残部Feおよび不可避成分を含有し、さらに、炭素とCr含有量の関係がC% $\leq$ -0.05Cr%+1.4

1 且つ、素材のフェライト化を促進する元素の含有量を  
示す所定の関係式  $e q 1$  及び素材のオーステナイト化を  
促進する元素の含有量を示す所定の関係式  $e q 2$  をそれ  
ぞれに、

次式 ( $e q 1$ ) =  $C r \% + S i \% + 1.5 M o \% + 3.5$   
 $V \%$ 、

( $e q 2$ ) =  $C \% + 0.83 N \% + 0.12 M n \%$  とし、

両式の相互関係と炭素と窒素の総含有量が、

( $e q 2$ )  $\geq 0.04 \times (e q 1) - 0.39$ 、

$e q 1 \leq 14.0$ 、 $e q 2 \leq 0.8$ 、 $C + N \geq 0.45$  10  
%を満足するマルテンサイト系ステンレス鋼（本発明鋼  
1）で構成されていることを特徴とする。

【0066】さらに好ましくは、外輪、内輪または軌道  
溝を備えた軸体、複数個の転動体から構成される転がり  
軸受において、転動体を除いた転動部材である被転動  
体、すなわち転動体との間で転がり接触を伴って使用さ  
れる相手側部材（内輪（又は軸）及び外輪）の少なくと  
も一つが、このマルテンサイト系ステンレス鋼で構成さ  
れ、転動体が、高炭素Crマルテンサイト系ステンレス  
鋼で構成されていることを特徴とする。

【0067】第2の実施形態

本願発明者らは高機能な各種スピンドル、またはスピ  
ンドルモータやHDD用の転がり軸受を安価に提供するた  
めに、コスト削減効果の大きな内輪、外輪側に素材コス  
ト、加工コストの小さな軸受鋼等の高炭素鋼を用い、転  
動体に異種材料を用いることにより、音響性能と耐フレ  
ッチング性を改善できないか検討を重ねた。

【0068】その結果、軌道輪に高炭素鋼を用い、転動  
体にステンレス鋼を用いることによって、（1）従来の  
ステンレス鋼製の転がり軸受よりも軌道輪側の粗さ精度 30  
が向上し、さらに粗大炭化物同士の干渉がなくなること  
等から音響性能に優れること、（2）高炭素鋼とステン  
レス鋼が互いに接触した場合には、単一素材で接触した  
場合よりもステンレス鋼は若干フレッチング摩耗が増加  
するのであるが、高炭素鋼側ではフレッチングが著しく  
抑制され、従来の軸受け鋼製の転がり軸受に比べて、耐  
フレッチング性が格段に向上すること、等が分かった。

【0069】すなわち、軌道輪にステンレス鋼を用い、  
転動体に高炭素鋼を用いた場合にはコストに対する効果  
が小さいばかりか、軌道輪、転動体共にステンレス鋼単  
一素材で構成した場合より、ステンレス鋼で構成された  
軌道輪側でフレッチング損傷しやすくなって、本来のス  
テンレス鋼の機能を損なうことになり好ましくなく、特  
にスイングアーム用軸受等、フレッチング性が問題とな  
る場合には、軌道輪に高炭素鋼を用い、転動体にステン  
レス鋼を用いる組み合わせが適切であることを見いだし  
た。これは、揺動運動の急加減速による軌道輪（または  
軸）と玉との微小すべりにより、玉の方は相手部材（軌  
道輪または軸）との転動部位が少しずつずれていくのに  
対し、軌道輪（または軸）の方は、そのずれが小さいた

め、軌道輪（または軸）の方がフレッチングに関し不利  
なためである。

【0070】さらに、ステンレス鋼の成分として窒素が  
使用された場合には、窒素が不動態膜の摩擦軽減効果を  
強めたり接触する相手側に転移膜が形成されやすくなっ  
たりして、さらに、相手材のフレッチング損傷を抑える  
ことが可能であることが分かった。

【0071】また、軌道輪に高炭素鋼、転動体にステン  
レス鋼を用いた場合には、高炭素鋼の方がステンレス鋼  
より硬さがやや大きいため内部摩擦が軽減でき、さら  
に、転動体の比重も小さくなるため、軸受の起動・回転  
トルクが小さくなる傾向にあり、各種スピンドル、又は  
各種スピンドルモータの搬送上、及びHDD装置用のス  
イングアーム用などで用いられる転がり軸受として好適  
に使用することができることが判明した。

【0072】すなわち、この転がり軸受は、外輪と、内  
輪または軸体と、外輪と内輪または軸体との間の複数個  
の転動体からなる複数の転動部材から構成され、転動体  
を除く上記転動部材の少なくとも一つが、重量%でC；  
0.8%以上1.5%以下（好ましくは0.9%以  
下）、Cr；0.1%以上2.0%以下（好ましくは  
0.6%以下）、Mn；0.1%以上1.5%以下、S  
i；0.1%以上1.0%以下、残部Feおよび不可避  
成分を含有する高炭素鋼（前記4の特定高炭素鋼）から  
なり、転動体が高Crマルテンサイト系ステンレス鋼、  
特に好ましくは窒素を0.05%以上0.2%未満含有  
した高Crマルテンサイト系ステンレス鋼で構成されて  
なることを特徴とする。

【0073】この実施形態によれば、従来、単一素材で  
構成されている各種スピンドル、又は各種スピンドルモ  
ータの搬送上、及びHDD装置用のスイングアーム用な  
どで用いられる転がり軸受をコストが反映されやすい外  
輪、および内輪または軸体を安価で加工性の良好な高炭  
素鋼で構成し、これらに比べ、体積が小さく、形状も単  
純で加工費を含めた素材コストがあまり反映されない転  
動体にステンレス鋼を用いることによって、これらの転  
がり軸受を安価に提供でき、また、炭化物の相互干渉が  
なくなる。更に軌道輪の硬さ、粗さ精度が向上すること  
により、トルク、トルク変動も小さく音響性能に優れ、  
さらにはステンレス鋼の相手材に対するフレッチング軽  
減効果により揺動耐久性も向上できる。また、転動体の  
摩擦軽減効果のほかにも転動体の線膨張係数、比重が小  
さいため、高速回転で使用される工作機械用の転がり軸  
受にも好適に使用できる。

【0074】また、本実施形態はリニアガイド装置やボ  
ールねじ装置に適用してもよい。リニアガイド装置の場  
合、レール及びスライダが前記高炭素鋼（4）、転動体  
が高Crマルテンサイト系ステンレス鋼、ボールねじ装  
置の場合、ねじ軸、ナットが前記高炭素鋼（4）、転動  
体が高Crマルテンサイト系ステンレス鋼である。



【0075】その際、転動体にNを0.05～0.20重量%含有させるとさらに好ましいことも転がり軸受の場合と同様である。

#### 【0076】第3の実施形態

近年、各種スピンドル又は各種スピンドルモータ用、及び、HDD装置等で用いられるスイングアーム用の転がり軸受にはさらに高い耐フレッチング性が要求されるようになってきており、近い将来に向けて更なる改善が必要であった。そこで本願発明者らは鋭意に研究を行い、優れた音響特性と耐フレッチング性を兼ね備えた転がり軸受を開発するに至った。

【0077】上記の目的を達成する本願発明に係わる転がり軸受の第3の実施形態は、外輪と、内輪または軸体と、外輪と内輪または軸体との間の複数の転動体からなる複数の転動部材から構成され、上記転動部材の少なくとも一つが、二次硬化能を有する鋼からなり、表面層に転動体径D<sub>a</sub>の2%以下の窒化層を有している（本発明鋼I1）ことを特徴とする。さらに好ましい転がり軸受の形態としては外輪と、内輪または軸体と、外輪と内輪または軸体との間の複数の転動体からなる複数の転動部材から構成され、上記転動部材の少なくとも一つが、二次硬化能を有する鋼からなり、表面層に転動体径D<sub>a</sub>の2%以下の窒化層を有し、さらに転動体がセラミックス材料から構成されているものが挙げられる。

【0078】本実施形態においては、表面層には480℃以下、好ましくは430℃以下で窒化处理された、Cr窒化物、Fe窒化物等からなる窒化層（窒素富化層）を有している。軸受材料にこのような窒化層を付与することによって凝着を防止し、摩擦を軽減させ、フレッチング損傷を著しく改善することができる。この場合、軸受材料が二次硬化能が備わっていないSUJ2のような一般の軸受材料であると窒化处理後に窒化層の下地では非常に軟質になってしまい、軸受に与圧、荷重が加わると塑性変形を生じてしまい、音響特性の劣化の原因となる。したがって、材料には二次硬化能を備えていることが必要条件であり、好ましくはHRC57以上のものであり、さらに好ましくは炭化物の大きさが2μm以下と非常に微細なものであり、特に好ましくは、C；0.45%以下、N；0.05～0.50%、コストの面から好ましくはN；0.05～0.20%、C+N；0.50%以上、Cr；12～13.5%、Mn；0.1～0.8%、Si；0.1～1.0%、必要に応じMo；3%以下、好ましくは0.5%以下、残部Fe及び不可避免成分からなるマルテンサイト系ステンレス鋼を使用する。

【0079】また、情報機器に使用される転がり軸受は特に精度が厳しく管理されるため、窒化处理温度が高くなると表面粗度や真円度が損なわれて適用不可になる。従って、窒化处理温度は480℃以下、更に430℃以下が好ましい。

【0080】また、軸受は通常、切削加工により所望の形状に加工された後、熱処理、切削加工、仕上げ加工等の工程を経て組み立てられて出荷されるものであるが、窒化处理は焼入れ後に窒化处理よりも高い温度（450～480℃）で二次硬化処理（高温焼戻し）を施した後、実施される。場合によっては焼入れ、二次硬化処理した後、切削及び研削加工され、最終仕上げ加工前に窒化处理される。

【0081】また、窒化層と下地の界面が最大せん断応力深さよりも深くなると、搬送中の衝撃荷重や与圧過大等により、界面や窒化層に亀裂が生じたりして破損する可能性があるため、窒化層深さを転動体径D<sub>a</sub>の2%以下とし、下地は靱性が高く且つ転動疲労に耐えうるHRC57以上の二次硬化鋼とした。また、窒化層深さが大きくなると、長時間処理によってコストが増加するだけでなく、表面粗度や真円度が低下する傾向にあり生産上問題を生じる恐れがあるため好ましくない。

【0082】また、本実施形態においては、転動体をセラミックスボールにすることでさらに凝着が生じ難くなりフレッチング損傷が軽減される傾向にあるため、コスト上許容される場合には転動体にセラミックスボールを使用することが好ましい。

#### 【0083】第4の実施形態

本願発明者らは鋭意に研究を行い、材料組成を改良することにより高機能かつ安価な情報機器用転がり軸受を開発するに至った。上記の目的を達成する本願発明に係る転がり軸受の第4の実施形態は、外輪と、内輪または軸体と、外輪と内輪または軸体との間の複数の転動体からなる複数の転動部材から構成されるステンレス鋼製の転がり軸受において、上記転動部材の少なくとも一つが、重量%でC；0.30～0.45%、Cr；10.5～13.5%、Mn；0.1～0.8%、Si；0.1～1.0%、N；0.05～0.19%、C+N；0.5%以上、残部Fe及び不可避免成分を含有し、静粛性、耐食性に優れるマルテンサイト系ステンレス鋼（本発明鋼II1）で構成されていることを特徴とする転がり軸受である。

【0084】また、本実施形態の転がり軸受の好ましい形態として、含有する炭化物の粒径を2.0μm以下、面積率を5%以下とし、静粛性、耐食性をより確実に得られるようにしたものが挙げられる。

【0085】さらに、本実施形態の転がり軸受の更に好ましい形態として、含有するOが20ppm以下、またはTi+0.1Alが総量で50ppm以下である転がり軸受、特に好ましい形態として、含有するSが100ppm以下である転がり軸受が挙げられる。

#### 【0086】第5の実施形態

本願発明者らは鋭意に研究を行なうことによりさらに改良を加え、音響性能等の機能に優れ、かつ安価な転がり軸受用材料を開発するに至った。さらに、本願発明者

らは、転動体が軸受内に封入されたグリースにより耐食性が確保されることも考慮して、軌道論を前記本発明鋼ⅠⅠⅠで構成し、転動体を安価な高炭素軸受鋼製のボールで構成することを検討した。その結果、転動体に高精度な高炭素軸受鋼製のボールを使用した場合、軌道論が従来の13Crマルテンサイト系ステンレスであると、硬質且つ粗大なM7C3型やM23C6型の炭化物が存在するため、回転使用されるうちに次第にボールの表面精度が低下し音響性能が低下する等十分な耐久性が得られないことがわかった。これに対して、軌道論に本発明鋼Ⅴを使用した場合には含有する炭化物、窒化物が非常に微細であることと、窒素が不動態皮膜の摩擦軽減効果を強めることもあって、転動体の精度低下を抑制でき、従来鋼に比べて非常に良好な耐久性を有する事がわかった。

【0087】上記の目的を達成する本願発明の転がり軸受に係る第5の実施形態は、外輪と、内輪または軸体と、外輪と内輪または軸体との間の複数個の転動体からなる複数の転動部材から構成されるステンレス鋼製の転がり軸受において、上記転動部材の転動体を除く少なくとも一つが、重量%でC；0.30～0.45%、Cr；10.5～13.5%、Mn；0.1～0.8%、Si；0.1～1.0%、N；0.05～0.19%、C+N；0.5%以上、残留Feおよび不可避成分を含有し、静粛性、耐食性に優れるマルテンサイト系ステンレス鋼（本発明鋼ⅠⅠⅠ）で構成されており、さらに、転動体が前記（4）の特定高炭素鋼から構成されていることを特徴とする音響性能に優れた転がり軸受である。

【0088】また、本実施形態の転がり軸受の好ましい形態として、含有する炭化物の粒径を2.0μm以下、面積率を5%以下とし、静粛性、耐食性をより確実に得られるようにしたものゝ挙げられる。

【0089】さらに、本実施形態の更に好ましい形態として、外輪、内輪または軸の少なくとも一方に使用する当該ステンレス鋼及び転動体に使用する当該高炭素軸受鋼において少なくとも一方が（より好ましくは両方が）O；20ppm以下、またはTi+0.1Al；50ppm以下含有する転がり軸受が挙げられる。

#### 【0090】直動案内軸受装置、ボールねじ装置の場合（第6の実施形態）

本願発明者らは炭素含有量を低減化して、代わりに窒素を添加することによって粗大かつ硬質の共晶炭化物を消失させて微細な球状の炭化物・窒化物とし、さらに、その他Si、Mn、Cr、Moの含有量をあるしきい値内に抑えることによって、焼鈍後の硬さが増加するのを抑制でき、飛躍的に変形抵抗が減少して冷間加工性が向上し、異形断面形状を持つ直動案内装置用のスライダやレール等の部品に好適に適用できること、また、炭化物、窒化物が微細で且つ均質であるため、短時間高周波焼入れで、焼入れ硬化層深さが得易く、熱処理品質のバラツ

キも低減できること、また、焼入れ方法が真空焼入れあるいは高周波焼入れのいずれであっても、従来鋼であるSUS440Cや13Cr系の高炭素マルテンサイト系ステンレス鋼に比較して良好な耐食性と疲労寿命が得られること等を見出し、本願発明をなすに至った。

【0091】上記の目的を達成する直動案内軸受装置あるいはボールねじ装置は、案内レール、スライダあるいはねじ軸、ナットおよび複数個の転動体等からなる複数の転動部材から構成され、上記転動部材の少なくとも一つが、本発明鋼Ⅰのマルテンサイト系のステンレス鋼から構成されていることを特徴とする。特に、前記本発明鋼Ⅰにおいて、C+N≤0.7重量%であるものが好ましい。

【0092】また、案内レール、スライダあるいはねじ軸、ナットおよび複数個の転動体等から構成される直動案内軸受装置、ボールねじ装置において、レールやスライダ等の異形断面形状をもつ構成部品の少なくとも一つが、焼きなまし後において、微細炭化物または窒化物と、フェライトとの混合組織からなり、所望される完成品形状に近い形状まで冷間異形引抜き加工された後、さらに表面層あるいは転動部のみ高周波焼入れによる焼入れ硬化層を有していることを特徴とする。ここで、表面層とは、例えば、転動体の直径の2%以内をいう。

【0093】この実施形態によれば、その構成材料であるステンレス鋼材に関して、耐食性に悪影響を与えるとともにその含有量が多い場合には粗大共晶炭化物を形成して機能を低下させる成分である炭素を、同程度の固溶強化作用のある窒素で一部置換して炭素濃度を一定の範囲内に規制することにより、粗大共晶炭化物の形成を抑制できて、耐食性や転動寿命等に優れ、さらに、その他合金成分含有量も適正範囲とすること等により、加工性や熱処理生産性が向上して、その結果、高機能な直動案内軸受装置を安価に製造できる。

【0094】また、冷間加工性、熱処理後の転動疲労寿命特性や耐食性が従来鋼より格段に優れるため、異形引抜きに係わらず、冷間で加工製造される軸受用のパイプやコイル、棒鋼等への適用も容易に行える。

【0095】さらに、この実施形態の転動装置は耐フレッチング性に優れ、短いストロークを繰り返して往復させる、例えば、テーブル装置用のボールねじやリニアガイドに好適に使用することができる。

【0096】好ましくは、先に述べた転がり軸受に係わる実施形態1のように、転動体を高炭素Crマルテンサイト系ステンレス鋼から構成する。例えば、リニアガイドではレールスライダやレールを本発明鋼Ⅰ、転動体を高Crマルテンサイト系ステンレス鋼で形成し、ボールねじ装置では、ナットとねじ軸を本発明鋼Ⅰ、転動体を高Crマルテンサイト系ステンレス鋼で形成するようにしてもよい。

【0097】特に厳しい耐食性等を必要とされる場合

(転がり軸受、直動案内軸受装置、ボールねじ装置を包含する転動部材に共通)

第7の実施形態

前述のように本願発明者らは特願平7-271111号において、粗大炭化物が形成されないC、Cr濃度の関係を見出し、さらに素材の健全性が保たれる範囲で窒素を添加することにより低コストを達成し、且つ従来のステンレス鋼をさらに高機能化する発明をなした。本願発明者らは、さらにこれを高機能化すべく鋭意に研究を行なった。その結果、転動疲労寿命に有害な粗大な共晶炭化物や $\delta$ フェライトが生成することなく、極めて優れた耐食性を有する材料組織を見出すに至った。

【0098】上記目的を達成する転がり軸受その他の転動装置は、外方部材と内方部材とその間に配設された複数の転動体からなる転動装置において、外方部材、内方部材、転動体の少なくとも一つが、重量%でC；0.45%以下、Cr；15%以上20%以下、Mn；0.1%以上0.8%以下、Si；0.1%以上1.0%以下、N；0.05%以上0.2%未満、Mo；0.5%以上3.0%以下、さらに、Ni；1.5%以下、Cu；2.0%以下および残部Feおよび不可避成分を含有し、CとCr含有量の関係が $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ 、且つ素材のフェライト化を促進する元素の含有量を示す関係式eq1及び素材のオーステナイト化を促進する元素の含有量を示す関係式eq2をそれぞれに、

$$(eq1) = Cr\% + Si\% + 1.5Mo\%,$$

$$(eq2) = C\% + 0.83N\% + 0.12Mn\% + 0.05Ni\% + 0.02Cu\% \text{ とし、両式の相互関係と炭素と窒素の総含有量が、} (eq2) \geq 0.04 \times (eq1) - 0.39, C+N \geq 0.4\%, \text{ さらには耐孔食性指標 } PI \text{ 値} = Cr\% + 3.3Mo\% + 3.0N\% - 4.5C\% \text{ が } 10.0 \text{ 以上を満足するマルテンサイト系ステンレス鋼 (本発明鋼IV) で構成されていることを特徴とする。}$$

【0099】第8の実施形態

本願発明者らは、上述のように特願平7-271111号において、低コスト且つ従来のステンレス鋼をさらに高機能化する発明をなしたが、更に耐食性、高温寿命の向上を図るべく研究を重ね、特開平9-287058号において高い芯部靱性を有し、且つ耐食性と高温寿命を兼ね備え、航空機用、特に高温・高速条件下で使用されるジェットエンジン、ガスタービン等に好適に使用できる転がり軸受を開発した。

【0100】しかし、この発明も材料を完成品形状に近い形状まで切削加工した後、焼入れ前に浸窒処理を施す必要があり、ずぶ焼きの材料に比べてコストアップすること、さらに、ボールねじ等の精機製品においては、丸棒を焼入れした後にソリッド研削という手法で一括に溝加工される場合があり、この場合には転走面下では削り代が非常に大きくとられるため、表面硬化型とすること

は難しい等の問題もあり、耐食性及び高温寿命に優れた低コストなずぶ焼き型軸受用ステンレス鋼の開発が望まれていた。

【0101】そこで、本願発明者らはさらにこれを高機能化すべく鋭意に研究を行い、転動疲労寿命に有害な粗大な共晶炭化物や $\delta$ フェライトが生成することなく、極めて優れた耐食性と高温寿命を有する軸受用ステンレス鋼を発明するに至った。

【0102】上記目的を達成する本願発明に係る転がり軸受その他の転動装置は、外方部材、内方部材及びこの間に配設された複数の転動体からなり、該転動体が、外方部材の転動体への接触面である第1の接触面とこれに対向する内方部材の転動体への接触面である第2の接触面とに対して転動する転動装置において、上記外方部材、内方部材及び転動体の少なくとも一つが、重量%で、C；0.45%以下、Cr；15%以上20%以下、Mn；0.1%以上0.8%以下、Si；0.1%以上1.0%以下、N；0.05%以上0.2%未満、Mo；0.5%以上3.0%以下、さらにNi；1.5%以下、Cu；2.0%以下、Co；1.0%以上7.0%以下、V；1.0%以下及び残部Fe及び不可避成分を含有し、Mo+V；0.8%以上4.0%以下、Co+Ni；2.0%以上8.0%以下、CとCr含有量の関係が $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ 且つ素材のフェライト化を促進する元素の含有量を示す関係式eq1及び素材のオーステナイト化を促進する元素の含有量を示す関係式eq2をそれぞれに、

$$(eq1) = Cr\% + Si\% + 1.5Mo\% + 3.5V\%,$$

$$(eq2) = C\% + 0.83N\% + 0.12Mn\% + 0.05(Ni+Co)\% + 0.02Cu\% \text{ とし、両者の相互関係とCとNの層含有量が、} (eq2) \geq 0.04 \times (eq1) - 0.39, (eq2) \leq 0.8, C+N \geq 0.4\%, \text{ さらには、耐孔食性指標 } PI \text{ 値} = Cr\% + 3.3Mo\% + 3.0N\% - 4.5C\% \text{ が } 10.0 \text{ 以上を満足するマルテンサイト系ステンレス鋼 (本発明鋼V) で構成されていることを特徴とする。}$$

【0103】各元素の作用及び含有量の説明

本発明鋼I (マルテンサイト系ステンレス鋼) を用いた場合 (第1、第6の実施形態)

本発明鋼Iの各成分等の臨界的意義は、以下のとおりである。

【0104】(C)Cは、基地をマルテンサイト化することにより焼入・焼戻後の硬さを向上せしめて強度を増加させる元素であるが、耐食性の面からは少ないほど良い。多量に加えると製鋼時にCrが粗大な共晶炭化物を形成する。その結果、基地中のCr濃度が不足して十分な耐食性が得られなくなるだけでなく、疲労寿命、靱性、加工性を低下させる。したがって、炭素含有量は0.6重量%以下とした。しかし、耐食性、加工性の観点からは0.5重量%以下、更に望ましくは0.45重量%以下とする。

【0105】(Cr)Crは鋼に耐食性を与える最も必要な元素であるが、10.0重量%に満たないと良好な耐食性が得られなくなる。また、Cr含有量が増加すると耐食性は向上するが、必要以上に添加されると、 $\delta$ フェライトや共晶炭化物が生成しやすくなり、靱性または疲労寿命を低下させ、さらに、加工性も劣化するので14%以下とした。好ましくは11.5重量%以上13.5重量%以下とする。

【0106】(Mn)Mnは製鋼時の脱酸剤として必要な元素で0.1重量%以上添加されるが、多量に添加すると冷間加工性、被削性を低下させるだけでなく、S、P等の不純物と共存して耐食性を低下させ、また、場合によっては残留オーステナイト量が増加して十分な焼入硬さが得られなくなることがあるので、0.8重量%以下、好ましくは0.5重量%以下とする。

【0107】(Si)SiはMnと同じく製鋼時の脱酸剤として0.1重量%以上必要である。さらに、焼戻軟化抵抗性を高め、転動疲労寿命を向上させるのに有効な元素であるが、多量に添加すると靱性、冷間加工性を低下させ、 $\delta$ フェライトの生成を促進するので1.0重量%以下とする。

【0108】(Mo)Moは焼入性及び焼き戻し軟化抵抗性を著しく増大させる作用がある。さらに耐食性にも有効に作用する。しかし、過剰に添加すると靱性だけでなく、焼鈍後の硬さが高くなり、その結果、冷間加工性及び被削性が低下し、素材コストだけでなく、軸受の製造コストが高くなるので0.5重量%以下とした。

【0109】(V)Vは強力な炭化物、窒化物生成元素であり、著しく強度を高め、耐食的に有効に作用する傾向にある。しかし、多量に添加すると靱性だけでなく、焼鈍後の硬さが高くなり、その結果、冷間加工性及び被削性が低下し、素材コストだけでなく、軸受の製造コストが高くなるので0.2重量%以下とした。

【0110】(N)NはCと同様にマルテンサイトを強化して耐食性、耐摩耗性を向上させる作用があり、さらに粗大な共晶炭化物の形成を抑制する作用もあるために、好ましくは、0.05重量%以上添加される。

【0111】また、一般に通常の大気圧条件下での製鋼過程では溶鋼及び初晶フェライト中の窒素溶解度が小さいため、本発明鋼の成分においては0.2重量%以上の窒素を添加することは非常に困難で、さらに多量の窒素を添加しようとする、凝固過程で気泡が生じてインゴット内に多量の気孔が導入され、素材の健全性が損なわれる。

【0112】0.2重量%以上の窒素を添加するためには高圧窒素雰囲気下で製鋼を行えば可能であるが、この場合には、莫大な設備費が必要になり、コスト高となるため、好ましくない。

【0113】以上の理由により窒素の含有量は0.2重量%未満とした。また、窒素はオーステナイト安定化元

素でもあり、場合によって（特に直動式案内軸受の場合には高周波焼入れの際のオーバーヒート時に）残留オーステナイト量が増加して焼入硬さが低下したりする場合があるので、好ましくは0.18重量%以下さらに好ましくは0.14重量%以下とする。

【0114】(C+N)焼入・焼戻後にHRC58以上の表面硬度と十分な耐摩耗性を得るためにはC+Nが0.45重量%以上必要である。また、炭素、窒素の総含有量が多すぎると、（特に、直動式案内軸受の場合は、焼きなまし後の硬さが増加したり、加工硬化したりして）冷間加工性が低下するので、好ましくはC+Nが0.7重量%以下とする。

【0115】(関係式)本発明において $(eq1)=Cr\%+Si\%+1.5Mo\%+3.5V\%$ 、 $(eq2)=C\%+0.83N\%+0.12Mn\%$ とし、両式の相互関係と炭素と窒素の総含有量が、 $(eq2)\geq 0.04\times(eq1)-0.39$ 、 $eq1\leq 14.0$ 、 $eq2\leq 0.8$ とした。

【0116】C、N、Mnの各元素は、オーステナイト安定化元素である。一方、Cr、Si、Mo、Vの各元素は、フェライト安定化元素である。

【0117】前記式 $(eq2)\geq 0.04\times(eq1)-0.39$ が満たされなければ、靱性に有害な $\delta$ フェライトが生成する場合がある。また、 $eq1\leq 14.0$ 、 $eq2\leq 0.8$ を満たさなければ、焼鈍後の硬さが増加したりして良好な加工性が得られず、また、残留オーステナイトの安定化による硬さの低下を生じ長寿命を達成できない。好ましくは、 $eq2\leq 0.7$ とする。

【0118】また、炭素濃度の上限を $C\%\leq 0.05Cr\%+1.41$ に限定しないと、粗大な共晶炭化物が生成して、音響特性、疲労寿命、靱性等を低下させる。なお、 $C\%\leq 0.05Cr\%+1.41$ であっても、製鋼時の凝固速度等の影響で共晶炭化物が5~20 $\mu m$ 程度あるいはそれ以上に粗大化する場合もたびたび見られることがあるが、本発明の転がり軸受に使用するステンレス鋼にあつては、共晶炭化物の粗大化を抑制する作用のある窒素を含有しているため、 $C\%\leq 0.05Cr\%+1.41$ を満足すれば粗大共晶炭化物の生成を抑制できる。

【0119】以上の理由で、本発明鋼Iは焼きなまし後において、10 $\mu m$ 以下の微細な炭化物と窒化物およびフェライトからの混合組織であり、C+Nの含有量やその他、合金成分を適正化しているため、素材硬さや加工硬化能が従来鋼であるSUS440Cや13Cr系のマルテンサイト系ステンレス鋼よりも低減できるので、特にリニアガイドやボールねじ装置の場合、特に冷間加工性に優れ、高周波焼入れによって十分な焼入れ硬化層を得易く、熱処理品質のバラツキ等も抑制でき、被装置の信頼性を向上できる。

【0120】以上説明した本発明鋼Iで内輪、外輪、転

動体を構成しても良いが、転動体を高炭素C<sub>r</sub>マルテンサイト系ステンレス鋼とすることにより、さらに好ましい効果が得られる。以下にこれを説明する。

【0121】(転動体に高炭素C<sub>r</sub>マルテンサイト系ステンレス鋼)従来の高炭素C<sub>r</sub>マルテンサイト系ステンレス鋼を用いて単一素材で軸受を構成すると、軸受鋼製の軸受よりも精度が劣る一方で、回転作動する際に接触面で炭化物が相互に干渉しあって、十分な音響性能、疲労寿命が得られない。

【0122】さらに、これらのステンレス鋼は、機械的強度や加工性も悪いため、特に内輪や外輪等への適用には不適切である。本発明鋼Iは炭化物が微細で機械的強度や加工性も良好なため、特に内輪、外輪等の適用に有効である。したがって、軌道輪側の材料に本発明鋼Iを用い、転動体側の材料に高炭素C<sub>r</sub>マルテンサイト系ステンレス鋼を用いて軸受を構成すると粗大な炭化物の相互干渉が抑制されて音響、疲労寿命が向上するとともに、機械的強度の良好な玉軸受を提供できる。

【0123】さらに、高炭素C<sub>r</sub>マルテンサイト系ステンレス鋼はM7C<sub>3</sub>あるいはM<sub>23</sub>C<sub>6</sub>等の硬質の炭化物量が多く、これらの炭化物は非金属的性質を持ち、金属-金属接触する面積が相対的に減少することと、ステンレス鋼の表面に生成する不動態皮膜が摩耗軽減効果を有することもあって、良好な耐摩耗性を有する一方で、相手部材の損耗を著しく抑制する作用がある。好ましい効果を得るためには、炭化物の面積率は3%以上であることが望ましい。また、炭化物量が多すぎると転動体の圧砕強度が著しく低下して割損に至る恐れがあるので、その上限は20%以下とする。

【0124】以上の理由により、相手側部材に本発明鋼Iを用い、転動体には高炭素C<sub>r</sub>マルテンサイト系ステンレス鋼を用いて軸受部材を構成するとさらに好ましい効果が得られる。

【0125】本発明鋼IIIを用いた場合(第4、第5の実施形態)

本発明鋼IIIの合金成分の作用及び成分範囲限定理由、その他臨界的意義は以下の通りである。

【0126】(C)Cの含有量範囲限定理由は本発明鋼Iと同様であり、特に、各種スピンドル、各種スピンドルモータやHDD用の転がり軸受として必要とされる硬度と微細炭化物を得るためには、炭素含有量は0.30重量%以上0.45重量%以下、好ましくは0.40重量%以上0.45重量%以下である。

【0127】(Cr)Crの含有量範囲限定理由も本発明鋼Iと同様であり、その含有量は、特に10.5重量%以上13.5重量%以下、好ましくは12.0重量%以上13.5重量%以下とした。

【0128】(Mn、Si)本発明鋼Iと同様である。

【0129】(N)含有量の限定理由は本発明鋼Iと同様であり、このような理由により窒素の含有量は0.19

重量%以下とした。また、窒素はオーステナイト安定化元素でもあり、場合によっては残留オーステナイト量が増加して耐衝撃性が低下することがあるため、好ましくは0.16重量%以下、さらに好ましくは0.14重量%以下とする。

【0130】(C+N)C及びNはマルテンサイトに固溶したり炭化物、窒化物となって軸受に必要な硬度や耐フレッチング性を得るのに必要な元素で、総量で0.5重量%以上が必要とされる。

【0131】(O、Ti+0.1Al)転がり軸受の音響性能は先に述べた粗大な共晶炭化物と硬質の非金属介在物が悪影響をもたらす。鋼中のO(酸素)は不可避成分であるAl等と結合してアルミナ系介在物となって残留することが多く、比較的粗大化しやすく、音響性能に悪影響を及ぼす場合もある。したがって、酸素は20ppm以下、好ましくは10ppm以下に制限される。また、AlやTiはN(窒素)と結合して非常に硬質のAlN、TiNとして残留し、アルミナ系介在物と同様に音響性能に悪影響を及ぼすためTi+0.1Al総量で50ppm以下に制限する。

【0132】(S)Sは耐食性に有害な元素であり、出来る限り少ないことが好ましく、効果を十分に発揮するためには100ppm以下とすることがより好ましい。しかし、ステンレス鋼は被切削性がSUJ2に比較して劣り、Sを低減化すると被削性が低下するだけでなく、過剰な清浄度化は素材コストの上昇をも招くので、必要以上の清浄度化は行なわない。

【0133】(含有する炭化物が粒径2.0μm以下、面積率5%以下)良好な音響性能を得るため、含有する炭化物の粒径を2.0μm以下、面積率を5%以下とする。

【0134】前記特定高炭素鋼を用いた場合第2および第5の実施形態の場合に用いる前記(4)の特定高炭素鋼の各元素の臨界的意義は、次のとおりである。

【0135】(C)炭素は軸受に必要な硬さを得るために有効な元素であり、耐食性を要求されない場合で、かつ、低コストの焼入・焼戻を主体とした熱処理で済ませることを考慮し、長寿命、耐摩耗性を得るためには0.8%以上添加すると効果的である。

【0136】しかし、1.5重量%を超えると粗大な炭化物が生成して、長時間のソーキングが必要となったり、加工性が低下したりして、逆にコストの上昇を招く。以上の理由より、素材の炭素量は0.8重量%以上1.5重量%以下とした。加工性の観点から、さらに素材コストを低減するためには好ましくは0.9重量%以下とする。

【0137】(Cr)Crは焼入性、焼戻軟化抵抗性を高め、さらに炭化物を形成して熱処理時の結晶粒粗大化を抑制したり、耐摩耗性を付与する等の作用がある。しか

し、2.0%を超えると長時間のソーキングが必要となったり、加工性が低下したりして、Crの添加コストと共に素材コストの上昇を招く。以上の理由より、素材のCr量は0.1重量%以上2.0重量%以下とした。加工性の観点からさらに素材コストを低減するためには好ましくは0.6重量%以下とする。

【0138】(Mn)Mnは製鋼時の脱酸剤として必要な元素で0.1重量%以上添加されるが、多量に添加すると被削性を低下させるだけでなく、場合によっては残留オーステナイト量が増加して十分な焼入れ硬さが得られなくなるがあるので、0.1重量%以上（特にCrの量を0.6重量%以下とした場合は0.5重量%以上）1.5重量%以下、好ましくは1.1重量%以下とする。

【0139】(Si)SiはMnと同じく製鋼時の脱酸剤として0.1重量%以上必要である。さらに、焼戻軟化抵抗性を高め、転動疲労寿命を向上させるのに有効な元素であるが、多量に添加すると被削性を低下させるので1.0重量%以下とする。加工性の観点から、さらに素材コストを低減するためには好ましくは0.7重量%以下とする。

【0140】次に、第2の実施形態において、上記特定高炭素鋼からなる転動部材と組み合わせられる相手部材としての転動体を高炭素Crマルテンサイト系ステンレス鋼とする理由は、以下のとおりである。

【0141】(高Crマルテンサイト系ステンレス鋼)高炭素鋼と高Crステンレス鋼を単一素材で耐フレッチング性を評価した場合には、ステンレス鋼の方が極めて良好であるが、これらを組み合わせることによって、高炭素鋼のフレッチング損傷は抑制され著しく改善される。

【0142】これに対して、ステンレス鋼は単一素材で評価した場合よりも、ややフレッチング損傷を受けやすくなる傾向にあり、難加工性のステンレス鋼を軌道輪に用いたのでは、コスト削減の効果が小さいばかりか、ステンレス鋼が本来備えている特性を十分に発揮できない。

【0143】HDDスイングアーム用の転がり軸受で問題となるのは軌道輪のフレッチング損傷であるため、コスト・機能面で十分に効果を発揮するためには軌道輪にコストの小さい高炭素鋼を用い、転動体にステンレス鋼を用いることが好ましい。加工性は高炭素鋼に比べ劣るものの、比較的工数のかかる軌道輪に比べると転動体（玉）は鍛造で大部分の成形が済むので、ステンレス鋼を用いてもあまり問題はない。

【0144】また、このように、軌道輪に高炭素鋼を用いることによって、粗さ精度が向上し、接触面における炭化物同士の干渉がなくなり、音響性能が向上する。さらに、軸受鋼のような高炭素鋼はステンレス鋼に比べて硬さがやや大きいので、内部摩擦が軽減でき、転動体にステンレス鋼を用いることによって、転動体の比重も小

さくなることから、軌道・回転トルクがやや小さくなる傾向があり、各種スピンドル、又は各種スピンドルモータの搬送上、及びHDD装置用のスイングアーム用などで用いられる転がり軸受に限らず好適に使用できる。

【0145】(N)Nは好ましくは0.05~0.2重量%添加。第1の目的の理由に加え、さらに特に、相手部材である軌道輪または軸が上述の炭素鋼である場合、ステンレス鋼に窒素が合金化されることによって、接触する相手材である炭素鋼の表面に転移膜を生じやすく、フレッチング摩耗の軽減に多大な効果を奏する。以上の理由により、少なくとも0.05重量%以上添加される。

【0146】本発明鋼IVを用いた場合（第7の実施形態）

本発明鋼IVの各元素の含有量の臨界的意義は、次の通りである。

【0147】(C)Cは、基地をマルテンサイト化することにより焼入れ・焼戻後の硬さを向上せしめて強度を増加させる元素であるが、耐食性の面からは少ないほど良い。また、多量に加えると製鋼時にCrやMo等の炭化物生成元素によって粗大な共晶炭化物を形成し、転動寿命や耐食性を著しく劣化させる。したがって、C含有量は0.45重量%以下とした。更に耐食性の観点から、好ましくは0.4重量%以下とする。

【0148】(Cr)Crは鋼に耐食性を与える最も必要な元素であり、特に耐食性を重視する場合、その効果を格段に発揮させるためには15.0重量%以上必要である。また、Crが必要以上に添加されるとδフェライトが生成して脆化したり、炭素含有量によっては炭化物が粗大化して耐食性をかえって低下させることもあるため、上限を20.0重量%とし、好ましくは17重量%以上19重量%以下とする。

【0149】(Mn)Mnは製鋼時の脱酸剤として必要な元素で0.1重量%以上添加されるが、多量に添加すると残留オーステナイトが生成しやすくなって十分な焼入れ硬度が得られなくなるがあるので上限を0.8重量%、好ましくは0.5重量%以下とする。

【0150】(Si)本発明鋼Iに同じである。

【0151】(N)NはCと同様にマルテンサイトを強化して、焼入れ硬さを高め、さらに耐食性を向上させた。粗大な一次共晶炭化物の形成を抑制する作用があるために、0.05重量%以上、好ましくは、0.08重量%以上添加される。しかし、多量に添加すると通常の溶解では凝固過程で晶出する初晶フェライトの溶解度が小さいこともあって気泡が生じ、その結果インゴット内に多量の気孔が導入され素材の健全性が失われる。また、高圧窒素雰囲気下で製鋼法あるいは表面浸透法等によって素材の健全性を損なうことなしに窒素を多量に添加することも可能であるが、この場合には素材コストまたは熱処理コストが大となる。以上より、コスト上通常溶解による実施が好ましく、0.2重量%未満、好まし

くは0.18重量%以下とした。

【0152】(Mo)Moは焼入性及び焼き戻し軟化抵抗性を著しく増大させる作用がある。さらに耐孔食性を改善する作用もあるため0.5重量%以上添加される。しかし、過剰に添加すると靱性、加工性等を低下させるので上限を3.0重量%とした。

【0153】(Ni)Niは強力なオーステナイト安定化元素であり、 $\delta$ フェライトの生成を抑え、靱性を向上させ、さらに耐食性をも向上させる作用があるため選択的に好ましくは0.1重量%以上添加される。しかし、必要以上に添加すると多量の残留オーステナイトが生成して十分な焼入硬さが得られなくなることがあるので上限を1.5重量%とした。

【0154】(Cu)CuもNiと同様に若干のオーステナイト安定化元素であり、 $\delta$ フェライトの生成を抑え、さらに耐食性を向上させる作用があるため、好ましくは0.1重量%以上添加される。しかし、多量に添加すると軸受の製造過程で必要とされる熱間鍛造工程において熱間割れが生じる場合があり、さらに十分な焼入硬さが得られなくなることがあるので上限を2.0%とした。

【0155】(不可避成分)通常、鋼中には上記主要元素の他にP、S、O等の不純物を含有している。本願発明においてはコスト上、必要以上の高純度化は行なわないが、とくにS、Pはその量が多い場合には偏析したりして耐食性を低下させるため、鋼中不純物としてなるべく少ない方が良く、好ましくは0.03重量%以下に制限する。また、Oは酸化物系介在物を形成して疲労寿命等を低下させるので、鋼中不純物としてなるべく少ない方がよく、好ましくは50ppm以下に制限する。

【0156】( $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ )上式を満たさない場合には粗大な共晶炭化物が生成して、転動疲労寿命はもとより、著しい耐食性の劣化をも招いてしまう。

【0157】( $(eq2) \geq 0.04 \times (eq1) - 0.39$ 、 $(eq1) = Cr\% + Si\% + 1.5Mo\%$ 、 $(eq2) = C\% + 0.83N\% + 0.12Mn\% + 0.05Ni\% + 0.02Cu\%$ )eq1に記載される元素、すなわちCr、Si、Moの各元素はフェライト安定化元素であり、eq2に記載される元素、すなわちC、N、Mn、Ni、Cuはオーステナイト安定化元素である。したがって、上記不等式を満たさない成分系であれば、フェライトが安定化して靱性に有害な $\delta$ フェライトが生成する場合がある。

【0158】( $C+N \geq 0.4\%$ )マルテンサイト強化や析出硬化等によって軸受に必要な硬度を得るのに最低C+Nが0.4重量%、好ましくは0.45重量%以上必要である。

【0159】(耐孔食性指標PI値 $=Cr\% + 3.3Mo\% + 3.0N\% - 4.5C\% \geq 10.0$ )一般に、ステンレス鋼の耐食性評価は塩水噴霧試験または孔食電位測定

によることが多い。塩水噴霧試験は最も簡単な評価方法ではあるが、どの程度耐食性に差があるのかというのを定量化するには不向きな方法であり、定量的に耐食性を評価したい場合には分極測定法により孔食電位 $V_{c'}$ を測定して比較評価されることが多い。この孔食電位は大きい程耐食性が良好であることを示しており、さらに、オーステナイト系ステンレス鋼においては耐孔食性指標PI(Pitting Index) $=aCr\% + bMo\% + cN\%$ となる関係式と相関があるとされている。すなわち、耐食性はCr、Mo、Nの含有量が多いほど良好であるということを示しており、耐孔食性指標という考え方はオーステナイト系ステンレス鋼の成分設計にしばしば使用されている。しかし、この従来の耐孔食性指標はあくまで炭素をほとんど含有しないオーステナイト系あるいはフェライト系に適用できるのであって、炭素が包含されるマルテンサイト系ステンレス鋼には適用できない。そこで、本願発明者らは鋭意に研究を行ない、炭素の耐食性に及ぼす影響を調査した。その結果、 $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ を満足する組成範囲であれば、 $PI = Cr\% + 3.3Mo\% + 3.0N\% - 4.5C\%$ と非常に相関のあることを導き出した。

【0160】本願発明者は、粗大な共晶炭化物を含有しない場合には、上記のPI値と鋼の耐食性を現す孔食電位 $V_{c'}$ (100)とは良好な相関関係にあり、PI値を10以上確保することによって非常に高耐食性が得られることを見出した。以上の理由により、本願発明においては上記PI値は10.0以上とした。

【0161】本発明鋼Vを用いた場合(第8の実施形態)

本発明鋼Vの各元素の含有量の臨界的意義は、次の通りである。

【0162】[C]、[Cr]、[Mn]、[Si]、[N]、[Mo]、[Ni]、[Cu]、[不可避成分]、[CとCrの関係]、[C+N]、[PI値]については本発明鋼IVに同じである。

【0163】[Co]CoもNiと同様にオーステナイト安定化元素であり、 $\delta$ フェライトの生成を抑え、さらに、基地の固溶強化、炭化物の凝集抑制等により焼戻し軟化抵抗性、高温硬さを向上させる作用がある。そのため、1.0重量%以上添加するが、多量に添加すると加工性が低下するし、素材コストが著しくアップするので上限を7.0%とした。

【0164】[V]Vは強力な炭化物・窒化物生成元素であり、基地の中に微細に析出して析出強化に寄与する。特に、高温で焼戻した場合には、二次硬化に作用し、常温硬さを高める作用がある。そのため、選択的に1.0重量%まで添加されるが、1.0重量%を超えて多量に添加されると凝固過程で炭化物が粗大化したり、被削性等の加工性を著しく低下させる。

【0165】( $(eq2) \geq 0.04 \times (eq1) - 0.3$

9、

$$[eq1] = Cr\% + Si\% + 1.5Mo\% + 3.5V\% \\ [eq2] = C\% + 0.83N\% + 0.12Mn\% + 0.05 \\ (Ni + Co)\% + 0.02Cu\%, [eq2] \leq 0.8$$

eq1に記載される元素、すなわちCr、Si、Mo、Vの各元素はフェライト安定化元素であり、eq2に記載される元素、すなわち、C、N、Mn、Ni、Co、Cuはオーステナイト安定化元素である。従って、上記不等式を満たさない成分系であれば、フェライトが安定化して韌性に有害なδフェライトが生成する場合がある。また、eq2が0.8以上であると、オーステナイトが安定化して十分な焼入れ硬さが得られなくなることがある。

【0166】

【実施例】<実施例I>本実施例は、前記第1の実施形態に対応するものである。

【0167】本願発明の供試材及び比較鋼を表1に示すようにして調製した。また、表2には削減試験、ドリル穿孔試験、研削試験により加工性の評価を行った結果を示す。以下に、それらの試験条件を示した。なお、熱処理条件は加熱温度を1020～1070℃とし、60℃\*

\*の焼入油中に焼入れ後、直ちに-80℃×1hrのサブゼロ処理を行い、160～200℃×2hrの焼戻を行った。

【0168】(切削試験条件)

切削方式 : 乾式  
送り速度 : 0.1～0.2mm/rev  
切込み深さ : 0.5～1.0mm  
切削工具 : P10(JIS B 4053)  
切削速度 : 80～100m/min

10 (ドリル穿孔試験条件)

ドリル工具 : φ8mm、SKH51  
穿孔方式 : 乾式  
穿孔深さ : 10mm  
切削速度 : 21m/min(840rpm)  
推力 : 70kg

(研削試験条件)

砥石 : WA80(クレノートン社製)  
研削液 : ソリュブルタイプ  
砥石周速 : 1500～2700m/min

20 【0169】

【表1】

	記号	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	N	eq1	eq2	C+N
実施例	A	0.37	0.57	0.38	13.25	-	-	0.11	13.82	0.51	0.48
	B	0.40	0.33	0.31	13.00	-	-	0.18	13.33	0.59	0.58
	C	0.50	0.30	0.28	12.87	0.42	-	0.18	13.80	0.68	0.68
	D	0.43	0.40	0.30	12.95	-	-	0.14	13.35	0.58	0.57
	E	0.33	0.50	0.52	12.30	-	0.12	0.13	13.22	0.50	0.46
	F	0.35	0.30	0.40	13.01	0.10	0.11	0.13	13.85	0.61	0.48
参考例	G	0.39	1.13	0.51	13.03	-	-	0.13	14.16	0.56	0.52
	H	0.35	0.50	1.10	12.99	-	0.42	0.14	14.96	0.60	0.49
	I	0.37	0.42	0.34	12.99	0.67	-	0.13	14.42	0.52	0.50
	J	0.39	0.57	0.52	16.43	-	-	0.14	17.00	0.57	0.53
	K	0.43	0.45	0.44	13.00	0.22	0.32	0.12	14.90	0.68	0.55
	L	0.38	0.35	0.70	13.05	0.09	-	0.02	13.54	0.48	0.40
	M	0.64	0.36	0.59	12.60	0.04	-	-	13.02	0.71	0.64
	N	1.02	0.36	0.59	17.12	0.40	-	-	18.08	1.09	1.02
	O	0.36	0.80	0.30	18.12	0.40	0.96	0.10	22.88	0.48	0.46

$$eq1 = Cr\% + Si\% + 1.5Mo\% + 3.5V\%$$

$$eq2 = C\% + 0.83N\% + 0.12Mn\%$$

【0170】

【表2】



番号	焼鈍硬さ(HRB)	切削工具寿命(min)	穿孔所要時間(sec)	ドレッシング(研削回数)	仕上げ面粗さ( $\mu\text{mRa}$ )	総合評価
A	88.9	98	14.1	29	0.04	○
B	89.0	88	14.7	27	0.04	○
C	89.5	82	15.5	24	0.05	○
D	89.0	89	14.5	28	0.04	○
E	89.5	83	15.3	28	0.04	○
F	89.4	82	15.0	29	0.04	○
G	94.0	47	19.8	20	0.05	△(×)
H	93.7	58	18.7	24	0.04	△
I	92.8	62	17.4	23	0.05	△
J	91.2	73	17.1	21	0.05	△
K	93.2	62	18.6	20	0.04	△
L	89.0	87	14.6	30	0.04	○
M	93.8	55	18.9	20	0.08	△
N	95.2	44	21.3	14	0.12	×

実 施 例

参 考 例

本発明鋼はいずれも粗大な共晶炭化物がなく、さらに、表1及び表2からも明らかなように、C、Si、Mn、CrさらにはMo、V等の合金成分を限定し、焼鈍後の硬さ増加を最小限に抑えられているので、切削性、研削性、さらには、研削仕上げ加工後の粗さも小さく、全てにおいて良好である。これに対して、参考例であるG、H、I及びKは $e q 1 \leq 14$ 、0を満たしておらず、相対的に焼鈍後の硬さが増加して、良好な加工性が得られない。また、参考例NはC%が0.6%以上であるばかりか、 $e q 2 \leq 0.7$ や $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$ 等の関係式を満たしていないため、粗大炭化物が生成したりして加工性が悪い。参考例Oはデルタフェライトの生成が見られたので評価からは除外した。

【0171】表3には、これらの寿命試験結果、衝撃試験結果、塩水噴霧試験結果を示した。

【0172】塩水噴霧試験は軸受外輪を完全にアセトンで脱脂した後、JIS規格Z2371に準拠し、35℃、5%NaCl溶液を用いて行い、試験時間50hr後の外観で判定した。表中には発錆の程度を観察して良好なものから○、△、×の3段階で評価した結果を示した。

【0173】また、寿命試験には「特殊鋼便覧」第一版（電気製鋼研究所編、理工学社、1969年5月25日発行）第10～21頁記載のスラスト型転がり寿命試験機を用いて以下の条件で行い、各サンプルにフレーキングが発生した時点までの累積応力繰返し回数（寿命）

を調査してワイブルプロットを作成し、各ワイブル分布の結果から各々のL10寿命を求めた。

【0174】また、衝撃試験はJIS3号試験片(2mm深さ5RCノッチ)を用いて室温で行った。

【0175】(寿命試験)

\*

【表3】

配号	硬さ(HRC)	炭化物面積率(%)	炭化物粒径( $\mu\text{m}$ )	シャトル-レバ試験値(MPa $\cdot\text{m}^2$ )	海水腐蝕試験	L10寿命( $\times 10^7$ cycles)
A	59.6	3以下	3以下	3.9	○	10.6
B	60.7	3以下	3以下	3.4	○	11.2
C	61.2	3以下	3以下	3.1	△	10.1
D	60.4	3以下	3以下	3.5	○	12.3
E	60.2	3以下	3以下	3.7	○	10.5
F	59.8	3以下	3以下	3.8	○	10.4
G	61.2	3以下	3以下	3.3	△	11.3
H	58.6	3以下	3以下	3.2	○	8.6
I	60.2	3以下	3以下	3.7	○	10.5
J	60.4	3以下	3以下	3.0	○	10.9
K	60.2	3以下	3以下	3.1	○	11.9
L	56.4	3以下	3以下	4.0	○	6.8
M	58.2	4	6	1.6	×	7.6
N	59.7	16	23	1.1	×	1.7
実施例						
参考例						

表3から、実施例は炭化物が微細でかつ炭化物量も少なく、さらに窒素添加の影響もあって、衝撃強度、耐食性、疲労寿命すべてにおいて良好な結果が得られた。参考例であるM、Nはやや炭化物が粗大で且つ炭化物量も多く、窒素添加の影響もないため、すべてにおいて本発明鋼より劣っている。

【0177】また、参考例Lは良好な加工性が得られたが、C+N含有量が不足して十分な硬度が得られず、良好な転動寿命が得られない。以上より、本発明鋼は加工

\*試験面圧 : 5200MPa  
回転数 : 3000C. P. M.  
潤滑油 : #68タービン油

【0176】

【表3】

性が良好で転動寿命や耐食性等も良好なため、本材料を用いて軸受けを構成することにより、安価で高機能な軸受を提供できることが判明した。

【0178】さらに、各種スピンドル、各種スピンドルモータやHDD装置用等のスイングアーム用玉軸受の要求特性である音響性能あるいは耐フレッチング性を評価した結果を表4に示した。なお、耐フレッチング性については図1に示したフレッチング耐久試験機を用いて以下の条件で実施し、内輪摩耗深さを測定して評価した。

【0179】なお、図1において、10は軸に固定された予圧バネ、12は軸の回転止め、14は軸、16はハウジング、18a、18b、18cは（軸とは別体に形成される）スリーブ、20は試験軸受、22はスリーブを軸方向に押圧する皿ばね、24はサポート軸受、26はACサーボモータである。軸、内輪は回転せずハウジング、外輪が回転可能に支持されている。予圧はスリーブ18aが押圧されることにより、図2で矢示されるように、いちばん上の試験軸受20の内輪20-2、外輪20-1及び転動体20Aに予圧が加わり、以下同様に各試験軸受20に伝わる。

【0180】（フレッチング耐久試験）

試験軸受 : SR1810  
 潤滑 : 鉱油系グリース  
 周波数 : 30Hz  
 荷重 : 9.8N  
 揺動角度 : 8°  
 サイクル数 : 2億回

【0181】

【表4】

20

試験No.	材料		音響性能		トルク平均値 (g・cm)	内輪摩耗深さ (μm)
	軌道輪	転動体	M. B.	H. B.		
1	B	B	0.5	0.6	1.09	0.78
2	C	C	0.6	0.7	1.05	0.75
3	D	D	0.5	0.6	1.07	0.77
4	C	M	0.6	0.7	1.07	0.70
5	D	N	0.6	0.7	1.08	0.68
6	M	M	1.2	1.3	1.22	0.91
7	N	N	1.5	2.5	1.17	0.74
8	L	L	0.5	0.6	1.31	2.12
実 施 例			参 考 例			

30

表4より、本発明鋼は粗大な炭化物がなく、高硬度であるために音響性能に優れ、さらに低トルクであることがわかる。また、高硬度なうえ耐摩耗性に寄与する窒素等の効果により、耐フレッチング性においても良好で、特に転動体に高炭素Crステンレス鋼を用いたもので特に効果が大きい。

40

【0182】これに対して、参考例No. 6及び7は軌道輪、転動体共に従来の高炭素Crステンレス鋼で構成した場合の例であるが、粗大な炭化物が存在するために、音響性能においてやや劣り、炭化物量が少ないNo. 6では耐フレッチング性がやや劣る傾向にある。また、硬さがやや不足して、内部摩耗によりトルクが大きくなる傾向にある。参考例No. 8はC+Nの含有量が0.45に満たないために硬さが不足し、耐フレッチング性が著しく低下した。

50 【0183】以上のように、本願発明は従来のステンレ

ス鋼としての機能を向上させることにとどまらず、良好な加工性をも付与したので機械加工される軸受用の材料として好適に使用できる。

【0184】＜実施例I1＞本実施例は、前記第2の実施形態に対応するものである。

\*

\*【0185】本発明の供試材を表5に示すようにして調製した。

【0186】

【表5】

供試材	C	Mn	Si	Cr	Mo	N	備考
P	0.85	0.80	0.30	0.25	-	-	
Q	1.01	0.30	0.30	1.50	-	-	SU12
N	1.02	0.59	0.36	17.12	0.40	-	SUS440C
R	0.63	0.70	0.47	12.97	-	-	13Crステンレス
S	0.45	0.30	0.30	13.00	-	0.14	N含有ステンレス

表6には供試材の熱処理条件及び本発明における実施の形態例および参考例を示した。なお、各種スピンドル、各種スピンドルモータやHDD装置用のスイングアーム用として用いられる玉軸受における要求特性である耐フ  
 レッチング性は図1に示したフレッチング耐久試験機を用い、以下に記載した条件で実施し、内輪摩耗深さ、さらには試験前後のトルク、トルク変動幅等を測定して評価した。トルクの大きさ及び変動幅は2rpmの速度で軸受を360°回転させて測定し、それぞれ平均値及び変動幅を用いて評価した。

20

【0187】(フレッチング試験条件)

試験軸受 : SR1810  
 潤滑 : 鉱油系グリース  
 周波数 : 30Hz  
 荷重 : 9.8N  
 揺動角度 : 8°  
 サイクル数 : 2億回

【0188】

【表6】

試験例 No.	材料		内径寸法		試験条件		空気圧力		トルク係数 ( $\tau_{100}$ )		トルク係数 ( $\tau_{100}$ )		内径寸法 ( $\phi$ )
	材料	温度	材料	温度	M. B.	H. B.	M. B.	H. B.	材料係数	材料係数	材料係数	材料係数	
11	P	温度: 120~160°C 湿度: 160~200°C	N	温度: 120~160°C 湿度: 160~200°C	0.5	0.7	1.04	1.38	0.32	0.99	0.32	0.99	0.92
12	P	温度: 160~200°C	R	温度: 160~200°C	0.5	0.6	1.06	1.40	0.32	0.98	0.32	0.98	0.93
13	P	温度: 120~160°C (90°Cサプレッ)	S	温度: 120~160°C (90°Cサプレッ)	0.4	0.5	1.01	1.24	0.31	0.93	0.31	0.93	0.76
14	Q	温度: 120~160°C (90°Cサプレッ)	N	温度: 120~160°C (90°Cサプレッ)	0.5	0.7	1.00	1.27	0.33	0.96	0.33	0.96	0.82
15	Q	温度: 120~160°C	R	温度: 120~160°C	0.6	0.6	1.06	1.37	0.32	1.00	0.32	1.00	0.91
16	Q	温度: 160~200°C	S	温度: 160~200°C	0.5	0.6	1.05	1.31	0.30	0.95	0.30	0.95	0.86
17	P	温度: 120~160°C	P	温度: 120~160°C	0.4	0.4	1.08	2.10	0.31	1.37	0.31	1.37	2.14
18	Q	温度: 120~160°C	Q	温度: 120~160°C	0.5	0.6	1.09	2.08	0.32	1.33	0.32	1.33	2.03
19	Q	温度: 120~160°C (90°Cサプレッ)	Q	温度: 120~160°C (90°Cサプレッ)	0.5	0.5	1.01	1.89	0.31	1.24	0.31	1.24	1.87
20	N	温度: 120~160°C (90°Cサプレッ)	N	温度: 120~160°C (90°Cサプレッ)	1.5	2.5	1.17	1.53	0.53	0.98	0.53	0.98	0.74
21	R	温度: 120~160°C (90°Cサプレッ)	R	温度: 120~160°C (90°Cサプレッ)	1.2	1.3	1.22	1.64	0.42	1.10	0.42	1.10	0.91
22	R	温度: 120~160°C (90°Cサプレッ)	Q	温度: 120~160°C (90°Cサプレッ)	0.8	0.9	1.18	1.87	0.38	1.21	0.38	1.21	1.02

表6より、本実施例は軌道輪に前記(4)の特定高炭素鋼を、転動体に高Crマルテンサイト系ステンレス鋼を用いて軸受を構成したので、粗大な炭化物同士の相互干渉がなくなり、さらに軌道輪側の粗さ精度や硬さが向上したことで、良好な音響性能と低トルク化が実現した。さらに、転動体をステンレス鋼としたことにより、軌道輪側のフレッチング損傷が軽減されて、軸受の機能低下が抑制された。

【0189】とくに、窒素を含有したステンレス鋼で転動体を構成したものはフレッチング損傷を抑制する効果が大きく、さらに炭化物の粗大化も抑制されるため音響性能も向上する傾向にある。また、転動体を構成する高

炭素鋼としてCが0.9重量%以下、Crが0.6重量%以下としたPを用いた場合、さらに音響特性、トルクとも改善される傾向があることがわかる。これに対して、参考例であるNo. 17、No. 18及びNo. 19は軌道輪、転動体共に高炭素鋼で構成されているために、音響性能は良好であるが、フレッチング損傷を受けやすく、軸受としての機能低下がはげしい。

【0190】また、No. 20、No. 21は軌道輪、  
 転動体共にステンレス鋼で構成されているためにコスト  
 が大きく、さらにフレッチング損傷は比較的小さいが、  
 炭化物同士の相互干渉及び粗さ精度の低下等の理由によ  
 り、十分な音響性能が得られない。また、No. 22は

軌道輪にステンレス鋼を転動体に高炭素鋼を用いて軸受を用いて構成したので、コスト低減効果が小さいばかりか、本発明例に比べて音響性能がやや劣り、トルク、トルク変動も大きい。

【0191】さらに、軌道輪、転動体共にステンレス鋼で構成された場合よりもフレッチング損傷しやすくなって、本来ステンレス鋼が備えている機能を損なう結果となり、好ましくない。

【0192】以上のように、外輪、内輪または軸、軌道輪側に高炭素鋼を用い、転動体に高Crステンレス鋼を用いて軸受を構成することにより、安価に高機能な各種スピンドル、スピンドルモータやHDD装置用のスイングアーム用の玉軸受を提供できる。

【0193】＜実施例111＞本実施例は、前記第3の実施形態に対応するものである。

【0194】外輪、内輪の素材には、炭化物が非常に微細で且つ二次硬化能を有するC；0.40～0.45%、N；0.05～0.20%、Cr；12～13.5%、Mn；0.1～0.8%、Si；0.1～1.0%、C+N≥0.5%、残部Fe及び不可避免成分であるマルテンサイト系ステンレス鋼を用いた。

【0195】表7には本実施例の玉軸受に関する音響測定結果及びフレッチング耐久試験結果を従来の玉軸受と比較評価した結果を示した。本実施例による素材は上記マルテンサイト系ステンレス鋼を用い、1020℃乃至1070℃焼き入れし、次いで450℃×2時間、二次硬化処理を施した後、切削加工し、410℃×24時間でガス窒化法により表面層に窒化層を形成させ、引き続き仕上げ加工したものを使用し、窒化層深さ約20μm（Daの2%；31.8μm）付加したものを表中にAとして記載した。参考として従来例である530℃窒化処理の場合との比較を表8に記載したが本実施例は参考例に比べて表面粗度、真円度の劣化が少なく、比較的研削代が少なく、精度が要求される情報機器用の極小径の玉軸受の熱処理方法としては有効である。

【0196】また、表7には従来の各種スピンドル用玉軸受に使用されているSUJ2、またHDD等で使用されるスイングアーム用玉軸受に使用されているC；0.60～0.75%、Cr；10.5～13.5%、Mn；0.3～0.8%、残部Fe及び不可避免成分である

13Crマルテンサイト系ステンレス鋼をBとして参考例に記載した。

【0197】また、フレッチング耐久試験機は図1に示すものを用いた。試験軸受は内輪を固定し、外輪をACサーボモータにより振動させ、下記条件で実施した。

【0198】

試験軸受 : 695  
潤滑 : 鉱油系グリース  
周波数 : 27Hz  
荷重 : 1.5kgf  
振動角度 : 2°  
サイクル数 : 10万回

表7から明らかなように、参考例35に記載された従来のSUJ2製スピンドル用玉軸受は音響特性は良好であるが、フレッチング耐久試験後の音響レベルの低下が大きく、耐フレッチング性が十分でない。これに対して参考例36に記載した従来の13Crマルテンサイト系ステンレス鋼製スイングアーム用玉軸受はフレッチング耐久試験後の音響レベルの低下がSUJ2製の玉軸受に比較して小さく、耐フレッチング性が良好であるが、音響レベルがSUJ2製の玉軸受に比較して劣っている。

【0199】これに対して、本願実施例31～34は軌道輪あるいは転動体のいずれかに本願発明鋼を使用した例で、相手側との凝着が抑制されることにより音響特性に加えて耐フレッチング性も向上した。また、耐フレッチング性に関しては本願実施例34に示すように、多少のコストアップが見込める場合には、転動体をセラミックスボールにするとさらに良くなる傾向にある。

【0200】以上、説明したように、本願発明によれば、耐フレッチング性が改善され、且つ音響特性の良好な玉軸受を提供することが可能となる。

【0201】なお、本実施例では、鋼Aとしては、材料のコストを考慮し、Moを含まないものを用いているが、3重量%以内（コストの面から好ましくは0.5重量%以内）含有させることにより、さらに二次硬化能を向上できる。また、二次硬化能があり、HRC57以上の材料であれば他のものでもよい。

【0202】

【表7】

	素材		アンデロン値(試験前)		アンデロン値(試験後)	
	軌道輪	転動体	M. B.	H. B.	M. B.	H. B.
実施例 31	A	SUJ2	0.6	0.8	1.1	1.4
実施例 32	SUJ2	A	0.7	0.8	1.3	1.7
実施例 33	A	B	0.7	0.9	1.0	1.2
実施例 34	A	Si3N4	0.8	1.0	0.9	1.1
参考例 35	SUJ2	SUJ2	0.6	0.7	4.0	4.3
参考例 36	B	B	1.1	1.4	2.8	3.2

【0203】

【表8】

	窒化処理条件		表面粗度Ra(μm)		真円度P-P(半倍法)(μm)	
	処理温度(℃)	処理時間(hr)	窒化前	窒化後	窒化前	窒化後
本願発明例	410	24	0.12	0.18	0.4	0.7
参考例	530	24	0.12	0.48	0.4	1.5

＜実施例Ⅰ＞本実施例は、前記第4の実施形態に対応するものである。

【0204】本発明の供試材を表9に示すように調製した。また、実施例1と同様の条件で切削試験を行なった。

【0205】表10、表11には熱処理品質、表12には玉軸受695による音響性能、耐フレッチング性及び耐食性等を評価した結果を記載した。表中にはSUJ2製のものも比較として記載した。A～Fは焼入れ温度1030℃でガス冷後、-80℃でサブゼロ処理し、160℃で焼戻し試験に供した。

【0206】炭化物の粒径については倍率3000倍で20視野分を走査型電子顕微鏡観察し、各視野の中で最大粒径のものを抽出し、画像処理により円相当径に換算して20視野分平均して算出した。また、炭化物の面積率については、倍率1000倍で20視野分を光学顕微鏡観察し、画像処理により各視野の面積率を求めた。

【0207】音響性能は上記玉軸受をアンデロンメータでM. B. とH. B. を測定し、それぞれn=20の平均値で記載した。また、フレッチング耐久試験は上記記載の軸受を図1に示した耐久試験機に与圧1.5kgfで組み付け、周波数27Hz、振動角度8°、サイクル数10万回の条件の下実施し、耐久試験後のアンデロン値を測定することで行なった。なお、軸受の潤滑についてはエステル系合成油を2～3mg塗布した微量潤滑下で行なった。

【0208】また、耐食性評価には、JIS規格Z2371に準拠した塩水噴霧試験により、実施例1と同様に

して行なった。表中には発錆なしをA、僅かに発錆をB、試験面積の20%以上で発錆をC、ほぼ全面発錆をD、著しい発錆をEとし、5段階評価した結果を記載した。

【0209】表10から、本願実施例は炭素含有量を含め、成分を加工性が改善される範囲に調整してあるので、工具寿命が向上し、コストが大幅に削減出来る。参考例は従来鋼である13Crマルテンサイト系ステンレス鋼(参考例44、45)及びSUS440C(参考例46)の場合であるが、共に素材中の炭素含有量が高く、硬質の共晶炭化物が多数内在するために加工性の点で本願発明鋼よりも劣っている。

【0210】また、表11、表12からも明らかなように、本願実施例は粗大炭化物が皆無であり、さらに炭素を低減化して窒素を付加したことにより、参考例よりも音響性能、耐食性の点で格段に優れている。また、O、Ti+0.1Alを低減化した実施例42にあっては音響性能に有害な非金属介在物が減少して、さらに音響性能が向上した。また、加えてSを低減化した実施例43にあっては、耐食性までもが一段と向上した。これに対して参考例44は従来鋼である13Crマルテンサイト系ステンレス鋼の例であるが、やや大きな共晶炭化物が内在するために音響性能の点ばかりか耐食性の点でも本願発明鋼に劣っている。また、参考例45は従来鋼である13Crマルテンサイト系ステンレス鋼のS及びTi+0.1Alの含有量を共に低減化したものであるが、粗大な共晶炭化物が残存するため音響性能あるいは耐食性に及ぼす効果が本願発明鋼に比較して劣っている。参

考例46は従来鋼であるSUS440Cの例であるが、極めて粗大な共晶炭化物が内在するため音響性能あるいは耐食性共に不十分である。更に、参考例47は現状スピンドルモータ用に使われているSUJ2の例であるが、音響性能には優れているものの、耐食性、耐フレッチング性の点で不十分である。

【0211】以上のように、本願発明は従来のステンレス鋼としての機能を向上させることにとどまらず、良好な加工性をも付与したので機械加工される軸受用の材料として好適に使用でき、特に情報機器用玉軸受にあってコストダウンと高機能化の両面で著しい効果がある。

【0212】以上、説明したように、本願発明の玉軸受\*

\*は、その構成材料であるステンレス鋼材に関して、耐食性に悪影響を与えるとともに含有量が多い場合には粗大共晶炭化物を形成して機能を低下させる成分である炭素を、同程度の固溶強化作用のある窒素で一部置換し、さらには不純物成分の含有量を低減化することにより、音響性能や耐食性等に有害な粗大な共晶炭化物あるいは非金属介在物の形成を抑制でき、その結果、加工性をも向上させて高機能な玉軸受を安価に製造することができる。

【0213】

【表9】

	記号	C (重量%)	Si (重量%)	Mn (重量%)	S (ppm)	Cr (重量%)	N (重量%)	Mo (重量%)	O (ppm)	Ti+0.1Al (ppm)
実施例41	A	0.43	0.30	0.30	120	13.0	0.14	—	22	55
実施例42	B	0.43	0.30	0.30	130	13.0	0.14	—	7	28
実施例43	C	0.43	0.30	0.30	50	13.0	0.14	—	8	25
参考例44	D	0.65	0.35	0.70	110	12.9	—	—	18	52
参考例45	E	0.65	0.35	0.70	50	12.9	—	—	7	25
参考例46	F	1.05	0.40	0.65	120	17.4	—	0.38	23	46

【0214】

【表10】

	記号	抗硬さ (HvB)	工具寿命 (min)
実施例41	A	88	89
実施例42	B	89	90
実施例43	C	89	80
参考例44	D	93	56
参考例45	E	93	50
参考例46	F	95	41

※【0215】

【表11】

	記号	炭化物粒径 ( $\mu\text{m}$ )	炭化物面積率 (%)	硬さ (HRC)
実施例41	A	0.90	2以下	61.8
実施例42	B	0.68	2以下	61.7
実施例43	C	0.87	2以下	61.9
参考例44	D	3.6	3~5	60.7
参考例45	E	3.4	3~5	60.6
参考例46	F	13.2	14~16	61.4

【0216】

【表12】

	記号	音響性能		フレッチング耐久性		耐食性 (塩水噴霧)
		M. B.	H. B.	M. B.	H. B.	
実施例41	A	0.5	0.7	0.8	1.1	B
実施例42	B	0.5	0.5	0.8	1.0	B
実施例43	C	0.3	0.4	0.7	0.9	A
参考例44	D	0.8	1.0	1.3	1.5	D
参考例45	E	0.8	1.0	1.2	1.3	C
参考例46	F	1.3	1.8	1.5	2.0	D
参考例47	SUJ2	0.4	0.6	3.6	4.0	E

<実施例V>本実施例は、前記第5の実施形態に対応するものである。

【0217】本願発明で軌道輪用の素材として用いた供試材及び比較鋼を表13に示すようにして調製した。ま

た、転動体用に用いた素材を表14に記載した。

【0218】軸受は695を用い、軌道輪を表13記載の素材で構成し、表14記載の素材からなる転動体を組み込み試験に供した。なお、表14に記載した軌道輪用



素材は焼入れ温度を1030℃、サブゼロ処理した後、160℃で2時間焼戻した。この時の各種素材の炭化物含有量は本願実施例であるA鋼、B鋼では炭化物粒径0.9μm、炭化物面積率2%以下であるのに対し、比較鋼であるC鋼、D鋼では炭化物粒径4μm以上、面積率3%以上であった。

【0219】表15には本願実施例における組合わせと比較例の組合わせ及びそれらの音響性能比較を記載した。また、図4には表15記載の軸受を用いて測定したアンデロン値の経時変化を示した。経時変化の測定は、上記軸受をスピンドルモータに組み込み、荷重2.0kgf、回転数7200rpmで回転試験を行ない、100hr毎に停止して同様にアンデロン値を測定して行なった。また、表15記載の耐食性評価は、JIS規格Z2371に準拠した塩水噴霧試験により、軸受外輪を完全にアセトンで脱脂した後、35℃で5%NaCl溶液を用いて行なった。表中には良好なものから◎～○～△～×の順で4段階評価した結果を記載した。

【0220】表15より本願発明鋼を軌道輪に用い、転動体に高炭素軸受鋼を用いた本願実施例51～55は参考例に比べて炭化物等が非常に微細であるため、音響性能、耐食性の点で参考例より優れている。表15中には、内輪、外輪、転動体すべて単一素材で構成した場合の参考例として、59にはX鋼(SUJ2)の場合、60にはC鋼の場合について記載した。60は硬質かつ粗大な炭化物を含有するため、59に比べて耐食性の点では優れているが、音響性能の点あるいはコストの点では劣っている。また、60の転動体のみをX鋼あるいはY鋼(SUJ2)とした参考例56及び57では格段に音響性能が向上しているが、すべてX鋼(SUJ2)からなる59と比較すると若干劣っている。さらに、参考例58は軌道輪がD鋼(SUS440C)で、転動体をX鋼(SUJ2)で構成した場合の例であるが、56あるいは57と比較して炭化物がさらに粗大であるため、音響性能の点で劣っている。本願発明例では、特に、OとTi+0.1Alの含有量を低減化したB鋼を軌道輪 \*

\*に、同じくOとTi+0.1Alの含有量を低減化したY鋼(SUJ2)を転動体に用いた場合、さらに音響性能は向上した。さらに、転動体をSUJ2よりもC、Cr含有量が少ないZ鋼で構成した場合には含有する炭化物が微細化、減少すること等からさらに音響性能は改善される傾向にある。

【0221】Cは0.8～0.9重量%、Crは0.1～0.6重量%の範囲が好ましいことが確認された。

【0222】また、図4に記載したように、本願発明例は軌道輪に用いた本願発明鋼の摩擦摩耗抑制効果のある不動態化効果が強いいためか、相手部材、すなわち転動体の損傷を軽減させて精度低下を抑えるため、音響性能の経時劣化が非常に小さい。これに対して、参考例56、58はこの摩擦摩耗抑制効果が本願発明鋼より小さいことと、粗大かつ硬質な炭化物の影響等もあって転動体の精度低下が著しく、耐久性の点で劣っている。図5には初期アンデロン値と300時間回転試験を行なった後のアンデロン変化量を示した。参考例が回転試験後にアンデロン値が大きく変化したのに対して、本願発明例は回転試験後においてもほとんど音響劣化が見られず、良好な耐久性を有していることが確認できる。

【0223】以上のように、本願発明は特に情報機器用玉軸受にあってコストダウンと高機能化の両面で著しい効果を奏す。

【0224】以上、説明したように、本願発明の玉軸受は、その構成材料であるステンレス鋼材に関して、耐食性に悪影響を与えるとともに含有量が多い場合には粗大共晶炭化物を形成して機能を低下させる成分である炭素を、同程度の固溶強化作用のある窒素で一部置換し、さらには不純物成分の含有量を低減化することにより、音響性能や耐食性等に有害な粗大な共晶炭化物あるいは非金属介在物の形成を抑制できて、さらに、転動体をコスト上有利な高炭素軸受鋼等で構成することにより、高機能かつ耐久性を備えた玉軸受を安価に製造できる。

【0225】

【表13】

記号	C (重量%)	Si (重量%)	Mn (重量%)	Cr (重量%)	N (重量%)	Mo (重量%)	O (ppm)	Ti+0.1Al (ppm)
A	0.43	0.30	0.30	13.0	0.14	—	22	55
B	0.43	0.30	0.30	13.0	0.14	—	7	28
C	0.67	0.35	0.70	12.9	—	—	23	54
D	1.05	0.40	0.65	17.4	—	0.38	23	46

【0226】

【表14】

記号	C (重量%)	Si (重量%)	Mn (重量%)	Cr (重量%)	O (ppm)	Ti+0.1Al (ppm)
X	1.06	0.30	0.30	1.51	13	58
Y	1.04	0.30	0.30	1.47	7	31
Z	0.87	0.30	0.90	0.27	8	38

【0227】

【表15】

	No.	素材			磨削性能(初期アンデロン値)		耐食性
		外輪	内輪	転動体	M. B.	H. B.	
実施例	51	A	A	X	0.4	0.8	◎
	52	A	A	Y	0.3	0.8	◎
	53	A	A	Z	0.3	0.5	◎
	54	B	B	Y	0.3	0.4	◎
	55	B	B	Z	0.3	0.3	◎
参考例	56	C	C	X	0.6	0.8	△
	57	C	C	Y	0.6	0.7	△
	58	D	D	X	1.0	1.2	○
	59	X	X	X	0.4	0.6	×
	60	C	C	C	0.8	1.1	△

＜実施例V I＞本実施例は、前記第6の実施形態に対応するものである。

【0228】供試材および比較鋼を表16に示すように調製した。また、表17には冷間加工性の評価を行った結果を示す。試験片は溶製材を熱間圧延してφ20にした後、焼きなましして長さ25mmに切断したものを用い、端面完全拘束試験を行い、圧下率50%の時の変形抵抗と各材料の割れ発生限界率を調査した。

【0229】また同様に作製されたφ65の材料を用いて、減面率10%、20%及び30%の各条件で冷間引抜きを行い、各減面率に対する加工硬化能(冷間加工引抜き後の硬さで評価)を調査した。さらに、減面率30%の試験片を用いて冷間加工した後24hr放置し、表面を観察し、時効割れが見られたものについては表中に×で記載した。

【0230】本発明鋼である「a」～「f」は焼きなまし後の硬さが低く、変形抵抗、変形能共に良好である。また、冷間加工時の減面率に対する加工硬化性も小さ

く、時効割れも見られなかった。これに対して参考例では「1」鋼を除きすべて本発明鋼より劣る結果となっている。「g」～「k」については合金成分含有量が実施形態の範囲を満たしておらず、「m」鋼は窒素が含有されていないため、やや5～10μm程度の共晶炭化物が多少生成して、冷間加工性が低下した。特に従来鋼であるSUS440Cまたは13Crマルテンサイト系ステンレス鋼である「n」～「p」は非常に加工性において劣っており、加工ひずみが残留して、粗大炭化物近傍を基点に時効割れが発生した。

【0231】また、熱処理条件は以下の条件で実施し、表面硬さ(0.15mm深さ)、硬化層深さ(550Hv)、塩水噴霧試験による耐食性評価、さらには、転動疲労寿命試験をおこなった。それぞれの試験条件を以下に記載した。

【0232】

【表16】

	記号	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	N
実施例	a	0.37	0.57	0.38	13.25	-	-	0.11
	b	0.40	0.33	0.31	13.00	-	-	0.18
	c	0.50	0.30	0.28	12.87	0.42	-	0.18
	d	0.43	0.40	0.30	12.95	-	-	0.14
	e	0.33	0.50	0.52	12.30	-	0.12	0.13
	f	0.35	0.30	0.40	13.01	0.10	0.11	0.13
参考例	g	0.39	1.13	0.51	13.03	-	-	0.13
	h	0.35	0.50	1.10	12.99	-	0.42	0.14
	i	0.37	0.42	0.34	12.99	0.67	-	0.13
	j	0.39	0.57	0.52	16.43	-	-	0.14
	k	0.43	0.45	0.44	13.00	0.22	0.32	0.12
	l	0.38	0.35	0.70	13.05	0.09	-	0.02
	m	0.46	0.30	0.36	13.01	-	-	-
	n	0.72	0.46	0.49	11.50	0.10	-	-
	o	0.66	0.16	0.69	12.50	0.10	-	-
	p	1.07	0.38	0.57	17.26	0.38	-	-

【0233】

【表17】

	記号	焼鈍硬さ (HRC)	変形抵抗 (N/mm <sup>2</sup> )	変形能 (%)	加工硬化性 (減面率)			時効割れ	総合評価
					10% (HRC)	20% (HRC)	30% (HRC)		
実施例	a	88.9	1020	72	94.6	98.1	99.7	○	○
	b	89.0	1040	73	94.9	98.6	100.4	○	○
	c	89.5	1120	70	95.2	98.7	100.7	○	○
	d	89.0	1060	72	94.7	98.4	100.1	○	○
	e	89.5	1100	71	95.2	98.6	100.8	○	○
	f	89.4	1090	72	94.8	98.5	100.6	○	○
参考例	g	94.0	1380	64	100.8	103.9	105.4	×	×
	h	93.7	1340	65	100.4	103.5	104.8	×	×
	i	92.8	1330	66	99.5	102.4	103.8	○	△
	j	91.2	1280	67	98.1	101.0	102.7	○	△
	k	93.2	1330	66	100.2	103.0	104.4	○	△
	l	89.0	1080	69	94.7	98.3	100.2	○	○
	m	91.0	1200	66	98.0	100.7	102.5	×	×
	n	92.4	1350	64	99.2	102.3	103.6	×	×
	o	93.8	1390	63	100.7	103.6	104.9	×	×
	p	95.4	1520	55	102.7	106.2	108.0	×	×

(熱処理条件)

試験片 :  $\phi 13 \cdot 2 \times 490$  (焼入部は中央400mmのみ)

高周波焼入機 : 発信方式 トランジスタ・インバータ式

出力 200kW

周波数 30kHz

焼入れ条件 :  $310V \times 24m/sec$  (焼入れ温度1050~1120℃、放射温度計測定による)

焼入れ : 水冷後 $-80^{\circ}\text{C}\times 1\text{hr}$   
 焼戻し :  $170^{\circ}\text{C}\times 1.5\text{hr}$

(塩水噴霧試験) 本試験は、JIS規格Z2371に準拠し、温度 $35^{\circ}\text{C}$ で5%NaCl溶液を用いて行い、試験時間50時間後の外観で判定し、その発錆程度により良好なものから○、△、×の3段階で評価した。

【0234】(転動疲労寿命試験) 寿命試験は、市場の直動案内軸受装置の損傷形態を観察し、そのほとんどがピーリング状の表面損傷であることから、図3に示すよ\*

試験面圧 :  $450\text{kgf}/\text{mm}^2$   
 回転数 :  $7800\text{rpm}$   
 潤滑油 : S10タービン油(出光石油(株)製)  
 転動体 :  $27/32$ インチボール3個(平均粗さ $0.27\mu\text{m}$ )

なお、図3の(1)はこの試験装置の平面図を示し、(2)はa-a'線断面図を示すものである。30は試験片( $\phi 12.9\times 80$ )を示し、31は $27/32$ インチボールを示し、32はリングを示す。試験片が78

\*うな表面損傷型ラジアル寿命試験により行い、各サンプルにフレーキングが発生した時点までの累積応力繰返し回数(寿命)を調査してワイブルプロットを作成し、各ワイブル分布の結果から各々のL10寿命を求めた。その試験条件を以下に記載した。

【0235】

00rpmで回転する。

【0236】

【表18】

記号	硬さ (HRC)	硬化層深さ (mm)	塩水噴霧試験	$L_{10}$ 寿命( $\times 10^6$ cycles)	
実施例	a	61.7	1.5	○	10.6
	b	62.1	1.5	○	10.8
	c	62.0	1.4	○	11.4
	d	61.9	1.5	○	10.6
	e	62.2	1.4	○	11.2
	f	61.9	1.4	○	10.7
参考例	g	61.7	1.4	○	11.3
	h	58.7	1.5	○	8.6
	i	62.0	1.4	○	10.5
	j	61.7	1.5	○	10.9
	k	61.9	1.4	○	11.9
	l	60.6	1.4	△	4.8
	m	60.1	1.3	×	7.6
	n	59.8	1.1	×	2.4
	o	60.2	1.2	×	2.8
	p	59.4	0.9	×	1.3

表18から、本願発明例は炭化物や窒化物が微細で均一分散しているため、従来鋼である「n」、「o」、「p」に比較して高周波焼入れによる短時間加熱においても十分な表面硬度と硬化層深さが得られ易い。さらに窒素添加の影響もあって、耐食性、疲労寿命すべてにおいて良好な結果が得られた。参考例である「1」は良好な加工性が得られたが、炭素、窒素の総含有量が小さく、窒素添加の影響が不十分であるため、疲労強度または耐食性において本発明鋼より劣る。

【0237】以上より、本発明鋼は加工性や熱処理生産性が良好で転動寿命や耐食性等も良好なため、転動用のマルテンサイト系ステンレス鋼として有望であり、本材料を用いて軸受を構成することにより、安価で高機能なステンレス製の直動案内軸受装置を提供できることが判明した。

【0238】＜実施例VII＞本実施例は、前記第7の

実施形態に対応するものである。

【0239】供試材及び比較鋼をその合金成分を表19に示すようにして調製した。また表20には熱処理後の熱処理品質良否及び耐食性評価試験結果、転動寿命試験結果を記載した。なお、熱処理条件としては、加熱温度を1030℃～1120℃とし、窒素ガス冷却した後、直ちに-190℃×30minのサブゼロ処理を行い、160～180℃×2hrあるいは450～520℃×2hrの焼戻しを行なった。表中には160～180℃×2hrの処理を施したものについてはA処理、450～520℃×2hrの処理を施したものについてはB処理として記載した。

【0240】B処理の処理温度を450～520℃とした理由は、それ以上の温度で焼戻しすると、二次析出した炭化物、窒化物の凝集が始まり軟化するとともに、耐食性も急激に低下するためである。

【0241】熱処理品質良否の判定は $\delta$ フェライトと共晶炭化物について行なった。光学顕微鏡を用いて倍率 $\times 400$ 被検視野 $400\text{mm}^2$ を観察し、 $\delta$ フェライトが見られたものには表中に $\times$ 印で記載し、共晶炭化物については画像処理を行ない、円相当径で $3\mu\text{m}$ を越えるものが存在する場合には大きい方から10個抽出してそれらの平均値をもって記載し、円相当径で $3\mu\text{m}$ を越えるものが見られなかったものについては“なし”と記載した。

【0242】耐食性評価試験は塩水噴霧試験と孔食電位測定により行なった。塩水噴霧試験は、JIS規格Z2371に準拠し、温度 $35^\circ\text{C}$ で5%NaCl溶液を用いて行い、試験時間150hr後の試験片の外観で判定した。表20中、 $\odot$ は全く発錆が見られなかったもの、 $\bigcirc$ は僅かに発錆が見られたもの、 $\triangle$ はほぼ全面で発錆したもの、 $\times$ は著しく発錆したものを示す。また、孔食電位測定は、JIS規格G0577に準拠して行なった。まず、研磨紙で800番まで研磨した試験片を $60^\circ\text{C}$ の30% $\text{HNO}_3$ 溶液中に1時間浸漬して不動態化处理し、その後 $30^\circ\text{C}$ 、3.5%NaCl溶液中で電位掃引速度 $20\text{mV}/\text{min}$ で掃引し、アノード電流密度が $100\mu\text{A}/\text{cm}^2$ に達した時の $\text{mV vs SCE}$ で評価した。

【0243】また、寿命試験は「特殊鋼便覧」第一版（電気製鋼研究所編、理工学社、1969年5月25日発行）第10～21頁記載のスラスト型転がり寿命試験機を用いて以下の条件で行い、各サンプルにフレーキングが発生した時点までの累積応力繰返し回数（寿命）を調査してワイブルプロットを作成し、各ワイブル分布の結果から各々のL10寿命を求め、評価した。

【0244】（クリーン潤滑寿命試験）

面圧 :  $4900\text{Mpa}$   
回転数 :  $1000\text{rpm}$   
潤滑油 : 68番タービン油

（塩水噴霧サイクル寿命試験）まず、前記JISZ2371に準拠した条件で塩水噴霧試験を2hr実施し、十分にアセトン脱脂した後、前記したクリーン潤滑寿命試験を $1 \times 10^7$ サイクルまで行ない、そこで破損しなかったものについては同様にアセトン脱脂した後、塩水噴霧試験を2hr実施し、それを繰返し、各サンプルにフレーキングが発生した時点までの累積繰返し数をもって寿命とした。また、評価はクリーン潤滑寿命試験

と同様にワイブルプロットを作成し、各ワイブル分布の結果から各々のL10寿命を求めることを行なった。

【0245】表19及び表20より、本願発明鋼は① $\text{C}\% \leq -0.05\text{Cr}\% + 1.41$ を満足することで粗大な共晶炭化物の生成を防止し、さらに

② $(eq1) = \text{Cr}\% + \text{Si}\% + 1.5\text{Mo}\%$ 、

$(eq2) = \text{C}\% + 0.83\text{N}\% + 0.12\text{Mn}\% + 0.05\text{Ni}\% + 0.02\text{Cu}\%$ とし、

両辺の相互関係 $(eq2) \geq 0.04 \times (eq1) - 0.39$ をも満足させることで、靱性、寿命に有害な $\delta$ フェライトの生成も防止し、且つ③耐孔食性指標PI値 $= \text{Cr}\% + 3.3\text{Mo}\% + 30\text{N}\% - 45\text{C}\%$ が10.0%以上、さらには炭素と窒素の総含有量0.4以上が確保されているため非常に高硬度かつ高耐食性である。表20からも明らかなように、71～83に示す本願発明鋼は非常に耐食性に優れ、長寿命である。特に、塩水噴霧サイクル寿命試験で、従来のマルテンサイト系ステンレス鋼である参考例84、85の寿命低下が激しいのに対し、本願発明鋼は長寿命を示した。

【0246】また、本願発明鋼は81～83に記載されるように、耐食性をあまり損なわずに二次硬化するため比較的高温で使用されたり、寸法安定性が要求されたりといった場合の高温仕様にも十分使用可能である。

【0247】参考例84、85は従来のマルテンサイト系ステンレス鋼であるが、炭素含有量が高いため耐食性に乏しく、特に85にあつては①式を満たしていないため非常に共晶炭化物が粗大で短寿命である。86、88、93～100は①式、②式を満たしているが、③式の耐孔食性指標PIが十分に確保されていないため本願発明鋼に比べて耐食性等に劣っている。87、89、90は①式を満たしていないため粗大共晶炭化物が生成して耐食性、寿命等が低下した。91、101は②の関係を満たしておらず、 $\delta$ フェライトが生成した。92はマルテンサイトを固溶強化する炭素と窒素の総含有量が0.4に満たないため硬度が不足して寿命が低下した。

【0248】以上のように、本願発明は従来のステンレス鋼の耐食性と寿命を大幅に改善した極めて高耐食性の転動用マルテンサイト系ステンレス鋼を提供するものである。

【0249】

【表19】

No.	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	N	eq1	eq2	$\alpha$	$\beta$	PJ
A-1	0.35	0.28	0.29	18.21	1.03	-	-	0.18	20.04	0.53	0.41	0.50	11.26
A-2	0.28	0.31	0.28	18.03	0.62	-	-	0.17	19.27	0.45	0.38	0.51	12.58
A-3	0.39	0.36	0.30	17.98	1.88	-	0.97	0.18	21.15	0.59	0.46	0.51	12.03
A-4	0.35	0.45	0.34	16.12	1.86	-	-	0.14	19.36	0.51	0.38	0.60	10.71
A-5	0.40	0.50	0.32	16.04	2.45	0.48	-	0.13	20.22	0.67	0.42	0.61	10.03
A-6	0.30	0.30	0.26	17.97	2.01	-	-	0.19	21.29	0.49	0.46	0.51	16.80
A-7	0.34	0.51	0.37	16.01	2.85	-	-	0.10	20.80	0.47	0.44	0.61	13.12
A-8	0.43	0.42	0.28	16.03	2.91	0.52	1.01	0.14	20.82	0.53	0.44	0.61	10.48
A-9	0.35	0.70	0.25	18.02	1.56	1.02	-	0.16	21.06	0.66	0.45	0.51	12.22
A-10	0.31	0.49	0.29	17.02	1.98	0.54	-	0.17	20.48	0.51	0.43	0.56	14.70
B-1	0.67	0.50	0.53	12.97	0.02	-	-	-	13.50	0.73	0.15	0.76	-17.11
B-2	1.04	0.45	0.60	17.23	0.38	-	-	-	18.25	1.11	0.34	0.55	-28.32
B-3	0.43	0.30	0.31	13.02	-	-	-	0.13	13.32	0.58	0.14	0.76	-2.43
B-4	0.46	0.46	0.34	20.34	0.98	-	-	0.15	22.26	0.83	0.50	0.39	7.37
B-5	0.49	0.30	0.31	16.56	0.97	-	-	0.18	17.32	0.68	0.30	0.63	2.11
B-6	0.79	0.49	0.61	15.86	-	-	-	0.09	16.35	0.93	0.25	0.62	-16.99
B-7	0.67	0.40	0.49	15.03	-	-	-	-	15.43	0.73	0.23	0.66	-15.12
B-8	0.24	0.50	0.48	19.87	2.56	-	-	0.18	24.21	0.45	0.58	0.42	22.92
B-9	0.20	0.49	0.60	17.23	-	-	-	0.17	17.72	0.40	0.32	0.55	13.33
B-10	0.38	0.57	0.59	12.38	-	-	-	0.08	12.95	0.52	0.13	0.79	-2.32
B-11	0.40	0.42	0.50	15.46	1.03	1.00	-	0.18	17.43	0.56	0.31	0.64	6.26
B-12	0.45	0.50	0.48	15.20	0.50	0.46	0.48	0.18	16.45	0.69	0.27	0.65	2.00
B-13	0.32	0.38	0.50	12.94	0.98	-	0.56	0.17	14.79	0.53	0.20	0.76	6.87
B-14	0.39	0.50	0.61	14.97	-	0.76	-	0.12	15.47	0.59	0.23	0.66	1.02
B-15	0.48	0.50	0.43	14.98	0.51	-	-	0.17	16.25	0.67	0.25	0.66	0.16
B-16	0.50	0.49	0.49	15.90	-	-	-	0.13	16.39	0.67	0.27	0.62	-2.70
B-17	0.40	0.50	0.46	17.00	1.89	-	-	0.04	20.34	0.49	0.42	0.56	6.44
B-18	0.39	0.52	0.47	18.01	2.79	-	-	0.03	22.72	0.47	0.52	0.51	10.57

 $\alpha: 0.04 [\text{eq1}] - 0.39$  $\text{eq1} = \text{Cr}\% + 8.1\% + 1.5\text{Mo}\%$  $\beta: -0.05 \text{Cr}\% + 1.41$  $\text{eq2} = \text{C}\% + 0.83 \text{N}\% + 0.12 \text{Mn}\% + 0.05 \text{Ni}\% + 0.02 \text{Cu}\%$ 

【0250】

【表20】

	No.	鋼種	熱処理	ミクロ組織		硬さ (Hv)	耐食性		寿命試験 L10	
				$\delta$ フェライト	共晶炭化物		孔食電位	塩水噴霧	ガン潤滑	塩水サイク
実 施 例	71	A-1	A	○	なし	694	369	◎	$9.8 \times 10^7$	$7.2 \times 10^7$
	72	A-2	A	○	なし	675	372	◎	$8.4 \times 10^7$	$7.7 \times 10^7$
	73	A-3	A	○	なし	687	341	◎	$9.5 \times 10^7$	$6.5 \times 10^7$
	74	A-4	A	○	なし	689	350	◎	$8.7 \times 10^7$	$6.4 \times 10^7$
	75	A-5	A	○	なし	691	348	◎	$9.1 \times 10^7$	$6.9 \times 10^7$
	76	A-6	A	○	なし	689	384	◎	$10.3 \times 10^7$	$8.9 \times 10^7$
	77	A-7	A	○	なし	671	356	◎	$8.6 \times 10^7$	$7.1 \times 10^7$
	78	A-8	A	○	なし	678	341	◎	$9.2 \times 10^7$	$5.8 \times 10^7$
	79	A-9	A	○	なし	680	376	◎	$8.8 \times 10^7$	$6.7 \times 10^7$
	80	A-10	A	○	なし	687	381	◎	$9.0 \times 10^7$	$8.3 \times 10^7$
参 考 例	81	A-4	B	○	なし	683	243	○	$8.4 \times 10^7$	$4.1 \times 10^7$
	82	A-6	B	○	なし	692	256	○	$9.4 \times 10^7$	$4.9 \times 10^7$
	83	A-10	B	○	なし	690	261	○	$8.8 \times 10^7$	$4.4 \times 10^7$
	84	B-1	A	○	$7 \mu\text{m}$	661	-190	×	$6.7 \times 10^7$	$0.4 \times 10^7$
	85	B-2	A	○	$2.6 \mu\text{m}$	696	-187	×	$2.1 \times 10^7$	$0.2 \times 10^7$
	86	B-3	A	○	なし	712	59	×	$11.5 \times 10^7$	$1.1 \times 10^7$
	87	B-4	A	○	$1.7 \mu\text{m}$	684	-46	×	$5.8 \times 10^7$	$0.7 \times 10^7$
	88	B-5	A	○	なし	709	84	×	$10.5 \times 10^7$	$1.3 \times 10^7$
	89	B-6	A	○	$1.9 \mu\text{m}$	690	-174	×	$5.1 \times 10^7$	$0.3 \times 10^7$
	90	B-7	A	○	$1.0 \mu\text{m}$	664	-180	×	$6.0 \times 10^7$	$0.6 \times 10^7$
	91	B-8	A	×	なし	588	-	-	-	-
	92	B-9	A	○	なし	628	371	◎	$4.9 \times 10^7$	$3.2 \times 10^7$
	93	B-10	A	○	なし	673	176	△	$8.9 \times 10^7$	$1.5 \times 10^7$
	94	B-11	A	○	なし	699	216	△	$9.1 \times 10^7$	$2.3 \times 10^7$
	95	B-12	A	○	なし	697	198	△	$9.3 \times 10^7$	$1.3 \times 10^7$
	96	B-13	A	○	なし	701	220	△	$11.1 \times 10^7$	$1.9 \times 10^7$
	97	B-14	A	○	なし	695	206	△	$9.7 \times 10^7$	$2.3 \times 10^7$
	98	B-15	A	○	なし	694	112	×	$8.8 \times 10^7$	$1.4 \times 10^7$
	99	B-16	A	○	なし	693	-14	×	$9.4 \times 10^7$	$0.8 \times 10^7$
	100	B-17	A	○	なし	676	209	△	$8.4 \times 10^7$	$2.8 \times 10^7$
	101	B-18	A	×	なし	594	-	-	-	-

<実施例V111>本実施例は、前記第8の実施形態に対応するものである。

【0251】本実施例において用いた供試材及び比較鋼の合金成分を表21に示す。

【0252】また、実施例V111と同様にして熱処理し、耐食性評価試験、転動寿命試験を行った結果を表22に示す。

【0253】なお、高温寿命試験は、深溝玉軸受6206を用い下記条件にて行った。

【0254】(高温寿命試験)

温度 : 170℃

P/C : 0.71

潤滑 : ジェットオイル

ボール : M50

表21及び表22より、本発明鋼Vは(1)  $C\% \leq -0.05Cr\% + 1.41$  を満足することで粗大な共晶炭化物の生成を防止し、さらに、

(2)  $[eq1] = Cr\% + Si\% + 1.5Mo\% + 3.5V\%$ 、

$[eq2] = C\% + 0.83N\% + 0.12Mn\% + 0.05(Ni + Co)\% + 0.02Cu\%$  とし、

両者の相互関係  $[eq2] \geq 0.04 \times [eq1] - 0.39$ 、及び  $[eq2] \leq 0.8$  をも満足させることで、韌性、寿命に有害なδフェライトの生成及び残留オーステナイトの増加による硬さ低下も防止し、且つ(3) 耐孔食性指標PI値  $= Cr\% + 3.3Mo\% + 3.0N\% - 4.5C\%$  を10.0以上、さらにはCとNの総含有量0.4以上が確保されているため高硬度かつ高耐食性である。また、(4) 含有するMo+VとCo+Nを最適な組成としたことで、比較的高温で使用される軸受に要求される高温寿命特性も良好である。

【0255】表22からも明らかなように、(C-1) ~ (C-12) (実施例101~112) に示す本発明鋼はB処理の場合の本発明の例であるが、基地がCoやNiの合金成分で固溶強化されたうえ、MoやV、Cr等炭化物、窒化物により二次硬化して、耐食性、腐食性環境下寿命、高温寿命すべてにおいて良好である。実施例113、114はA処理された場合の例であり、耐食性と腐食性環境下寿命において極めて良好である。但し、高温寿命試験は焼戻し温度とほぼ同じ温度での試験であり、寸法変化等を考慮すると好ましくないので実施しなかった。

【0256】参考例115、116、122~127は、Co+NあるいはMo+Vの含有量が本願発明に比べて少なく、高温寿命において劣っている。参考例117、119、128、129は上記(2)の関係を満たしておらず、δフェライトが生成したため、その後の評価は行わなかった。参考例118、120は上記(2)の  $[eq2] \leq 0.8$  を満たしておらず、残留オーステナイトが安定化して十分な硬度が得られず、良好な寿命が得

られていない。参考例121は上記(3)の  $C+N \geq 0.4$  を満たしておらず、十分な硬度が得られず、良好な寿命が得られていない。また、参考例122、123、126は、上記(3)のPIを満たしておらず耐食性が実施例に比較して劣っている。特に、126のものは上記(1)を満たしておらず、共晶炭化物生成により著しく耐食性、寿命が低下している。参考例125は上記(3)のPIを満たしてはいるが、(1)を満たしておらず共晶炭化物生成により耐食性、寿命が低下している。

10 【0257】図6は、C含有量とCr含有量の相関を示す図であり、上記(1)の関係を満たしていないものは、すべて3μm以上の粗大な共晶炭化物が生成したことを示している。本発明鋼Vは上記(1)の関係を満たすものであるため、図6に示すように共晶炭化物は生成しない。また、(1)の関係を満たすものであっても、窒素を含有しない場合には例外として共晶炭化物が生成することがある。また、共晶炭化物が生成した場合には、高周波焼入れ性が低下して、十分な硬化層深さが得られにくくなったり、共晶炭化物の溶け込みによって硬さむらが生じたりするので、本関係式を満たすことは極めて重要である。

【0258】図7はeq1とeq2の相関を示す図であり、上記(2)  $[eq2] \geq 0.04 \times [eq1] - 0.39$  の関係を満たしていないものは、すべて韌性に有害なδフェライトが生成することを示している。本発明鋼Vはすべてこの関係式を満たすものであるため、このδフェライトは生成しない。

【0259】以上より、上記の(1)及び(2)  $[eq2] \geq 0.04 \times [eq1] - 0.39$  を満たすことは本願発明の最低必要条件である。

【0260】また、ステンレス鋼は低合金鋼に比べて被削性や冷間加工性が著しく悪いので、これらを改善したことも本願発明の特徴の一つである。そのためには、上記(1)、(2)の条件に加えて、 $0.40 \leq C+N \leq 0.7$ 、 $eq1 \leq 14.0$ 、 $eq2 \leq 0.8$  とすることが必要である。また、図8に示すように、 $eq2 \leq 0.8$  を満たさない場合には、オーステナイトが安定化して焼入れ後に多量の残留オーステナイトが残り、十分な硬度が得られなくなるので特に重要である。

40 【0261】さらに、本願発明は、従来のマルテンサイト系ステンレスの耐食性を格段に向上させたことも特徴の一つである。図9は、PI値と孔食電位との相関を示すものであり、これは本願発明者が見出した関係式である。図からも明らかなように、PI値が大きいくほど孔食電位は大きくなる傾向にあり、本願発明のPI値  $\geq 10.0$  で耐食性は格段に優れている。また、粗大な共晶炭化物を含有する場合には、PI値が大きいくとも良好な耐食性が得られ難くなる傾向にある。

50 【0262】さらに、本願発明は比較的高温で転がり疲労を受ける場合について、高温寿命を高めた点にも特徴



がある。図10は、Co+NiあるいはMo+Vの含有量と高温寿命との相関を示すものであり、本願発明者らが見出した関係図である。

【0263】Co、Niは主に基地を固溶強化し、さらに、Mo、Vは主に基地に微細析出し分散強化する。Co+Ni、Mo+Vの含有量が少なすぎると良好な高温寿命が得られ難くなることを示している。

\*

\*【0264】以上のように、本願発明は従来のステンレス鋼の特に耐食性と寿命、さらには高温寿命を大幅に改善した極めて高耐食性のずば焼き用として使用できる転動用マルテンサイト系ステンレス鋼を提供するものである。

【0265】

【表21】

鋼種	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Cu	Ca	V	N	eq1	eq2	$\alpha$	$\beta$	Pl
C-1	0.25	0.31	0.29	18.12	2.03	0.06	0.06	2.98	—	0.18	21.48	0.59	0.47	0.50	18.97
C-2	0.30	0.45	0.30	17.98	0.96	0.50	0.05	1.95	0.52	0.16	21.69	0.59	0.48	0.51	12.45
C-3	0.31	0.38	0.28	15.89	2.87	0.08	0.07	3.01	—	0.17	20.73	0.64	0.44	0.62	19.94
C-4	0.25	0.40	0.27	19.85	1.03	1.03	0.07	8.02	0.43	0.17	23.30	0.78	0.54	0.42	12.10
C-5	0.37	0.39	0.28	16.12	2.85	0.08	0.07	2.87	—	0.17	20.78	0.69	0.44	0.60	13.98
C-6	0.29	0.50	0.33	18.01	2.01	0.08	1.04	3.02	0.85	0.18	24.50	0.65	0.59	0.51	16.98
C-7	0.29	0.45	0.30	17.98	2.00	0.07	0.08	2.80	—	0.17	21.44	0.51	0.47	0.51	15.84
C-8	0.28	0.46	0.31	18.11	0.57	0.40	0.98	1.94	0.32	0.18	20.55	0.60	0.43	0.50	12.79
C-9	0.39	0.51	0.27	17.99	2.10	0.97	0.07	1.08	—	0.18	21.65	0.68	0.48	0.51	12.71
C-10	0.43	0.47	0.29	18.03	1.98	0.87	0.06	1.99	—	0.17	21.47	0.75	0.47	0.51	10.31
C-11	0.29	0.43	0.28	17.50	2.94	0.98	0.07	4.87	0.74	0.18	24.83	0.77	0.51	0.54	19.55
C-12	0.32	0.41	0.29	18.02	1.78	0.08	0.07	5.03	0.74	0.18	23.69	0.76	0.55	0.51	14.89
D-1	0.31	0.38	0.35	17.50	2.97	1.01	0.07	0.57	—	0.17	22.34	0.57	0.50	0.54	19.45
D-2	0.25	0.35	0.33	18.22	0.76	1.04	0.08	1.02	—	0.17	19.71	0.54	0.40	0.50	14.58
D-3	0.26	0.33	0.48	18.02	2.99	1.03	0.06	1.02	0.48	0.17	24.50	0.58	0.59	0.51	21.25
D-4	0.38	0.37	0.49	17.12	2.67	1.98	0.06	4.22	—	0.18	21.50	0.90	0.47	0.55	14.23
D-5	0.28	0.45	0.37	20.12	2.80	0.53	0.96	1.50	—	0.17	24.77	0.59	0.60	0.40	21.86
D-6	0.33	0.30	0.38	17.98	1.99	0.98	1.02	4.30	—	0.18	21.27	0.81	0.45	0.51	15.10
D-7	0.20	0.45	0.32	18.01	1.20	1.00	1.40	1.10	—	0.17	20.26	0.51	0.42	0.51	18.07
D-8	0.36	0.38	0.47	15.98	0.98	0.08	0.07	1.01	—	0.18	17.83	0.62	0.32	0.61	8.41
D-9	0.44	0.34	0.28	16.22	1.56	0.89	0.08	0.46	—	0.17	18.90	0.68	0.37	0.60	6.67
D-10	0.29	0.30	0.30	17.98	0.88	1.40	0.50	0.28	0.40	0.18	21.15	0.57	0.46	0.51	13.56
D-11	0.38	0.30	0.29	21.96	0.98	0.98	0.07	—	—	0.16	23.75	0.60	0.58	0.31	12.91
D-12	0.49	0.31	0.32	19.98	1.23	0.07	0.08	—	—	0.18	22.16	0.68	0.50	0.41	7.39
D-13	0.30	0.32	0.33	17.20	0.57	1.02	0.98	4.10	—	0.17	18.38	0.78	0.35	0.55	10.68
D-14	0.12	0.40	0.34	15.38	1.89	0.08	0.07	—	—	0.18	18.62	0.30	0.35	0.64	21.02
D-15	0.21	0.43	0.30	16.78	0.97	0.06	0.07	—	0.57	0.17	21.01	0.39	0.45	0.57	15.53

$\alpha$  :  $0.04[\text{eq1}] - 0.39$   
 $\beta$  :  $-0.05\text{Cr}\% + 1.41$   
 $\text{eq1} = \text{Cr}\% + \text{Si}\% + 1.5\text{Ni}\% + 3.5\text{V}\%$   
 $\text{eq2} = \text{C}\% + 0.8\text{Mn}\% + 0.12\text{Mo}\% + 0.05(\text{Ni} + \text{Co})\% + 0.02\text{Cu}\%$

【0266】

【表22】

	No.	鋼種	熱処理	ミクロ組織		硬さ (HRC)	耐食性		寿命試験L10	
				δフェライト	共晶炭化物		孔食電位	塩水噴霧	塩水サイクル	6206高温
実施例	101	C-1	B	○	なし	59.8	282	◎	$5.8 \times 10^1$	292
	102	C-2	B	○	なし	60.0	242	◎	$6.2 \times 10^1$	290
	103	C-3	B	○	なし	60.1	264	◎	$5.9 \times 10^1$	298
	104	C-4	B	○	なし	60.3	272	◎	$4.5 \times 10^1$	318
	105	C-5	B	○	なし	60.6	247	◎	$5.4 \times 10^1$	312
	106	C-6	B	○	なし	60.0	266	◎	$5.8 \times 10^1$	309
	107	C-7	B	○	なし	60.3	258	◎	$6.0 \times 10^1$	287
	108	C-8	B	○	なし	60.1	244	◎	$5.3 \times 10^1$	291
	109	C-9	B	○	なし	60.5	229	◎	$4.4 \times 10^1$	270
	110	C-10	B	○	なし	60.7	212	◎	$4.1 \times 10^1$	275
	111	C-11	B	○	なし	60.1	275	◎	$5.7 \times 10^1$	321
	112	C-12	B	○	なし	60.2	246	◎	$5.1 \times 10^1$	315
	113	C-7	A	○	なし	59.6	378	◎	$9.3 \times 10^1$	—
	114	C-8	A	○	なし	59.4	368	◎	$9.0 \times 10^1$	—
参考例	115	D-1	B	○	なし	59.6	275	◎	$4.4 \times 10^1$	173
	116	D-2	B	○	なし	59.4	252	◎	$4.3 \times 10^1$	167
	117	D-3	B	×	なし	54.2	—	—	—	—
	118	D-4	B	○	なし	47.6	248	◎	$0.8 \times 10^1$	—
	119	D-5	B	×	なし	54.8	—	—	—	—
	120	D-6	B	○	なし	49.0	255	◎	$1.1 \times 10^1$	—
	121	D-7	B	○	なし	56.3	267	◎	$2.1 \times 10^1$	63
	122	D-8	B	○	なし	56.5	117	○	$2.2 \times 10^1$	102
	123	D-9	B	○	なし	58.6	69	△	$1.6 \times 10^1$	116
	124	D-10	B	○	なし	58.4	226	◎	$4.4 \times 10^1$	79
	125	D-11	B	○	8μm	58.3	49	△	$1.0 \times 10^1$	67
	126	D-12	B	○	13μm	58.0	-59	×	$0.3 \times 10^1$	59
	127	D-13	B	○	なし	58.5	231	◎	$2.4 \times 10^1$	89
	128	D-14	B	×	なし	52.1	—	—	—	—
	129	D-15	B	×	なし	53.4	—	—	—	—

【0267】

【発明の効果】以上説明したように本願発明によれば、耐フレッチング性、音響性能、耐食性、寿命及び加工性が改善された安価な転動装置を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 フレッチング耐久試験機の正面図である。

【図2】 玉軸受にフレッチング耐久試験機によって加わる力を矢示した模式図である。

【図3】 表面損傷型ラジアル寿命試験の模式図であり、(1)はこの平面図を示し、(2)はa-a'線断面図を示す。

【図4】 実施例5における音響性能の経時変化を示すグラフである。

【図5】 実施例5における初期アンデロン値と300

時間後のアンデロン値の変化量を示す図である。

【図6】 C含有量とCr含有量の相関を示す図である。

【図7】 eq1とeq2の相関を示す図である。

【図8】 eq2に対する硬さ(HRC)の相関を示す図である。

【図9】 PI値と孔食電位の相関を示す図である。

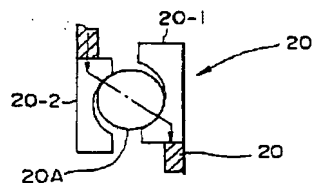
【図10】 Co+Ni、Mo+Vの含有量と高温寿命の相関を示す図である。

【符号の説明】

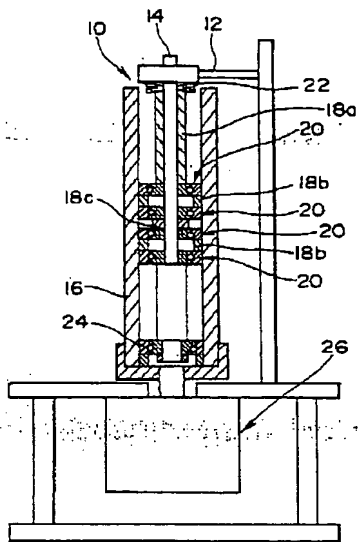
10：予圧バネ、12：回転止め、14：軸、16：ハウジング、18a、18b、18c：スリーブ、20：試験軸受、22：皿ばね、24：サポート軸受、26：

40 ACサーボモータ

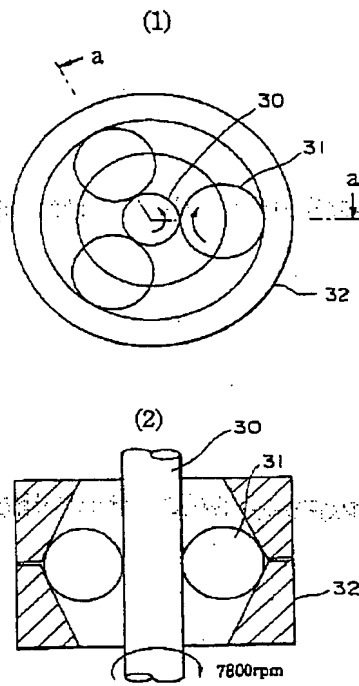
【図2】



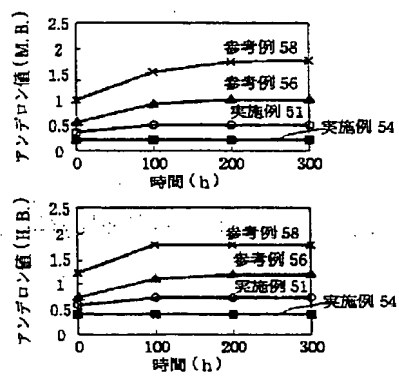
【図1】



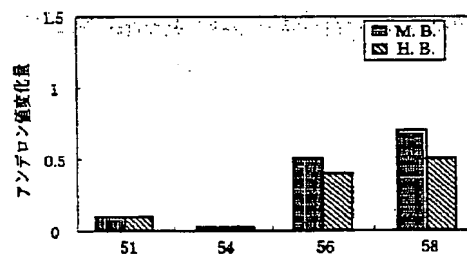
【図3】



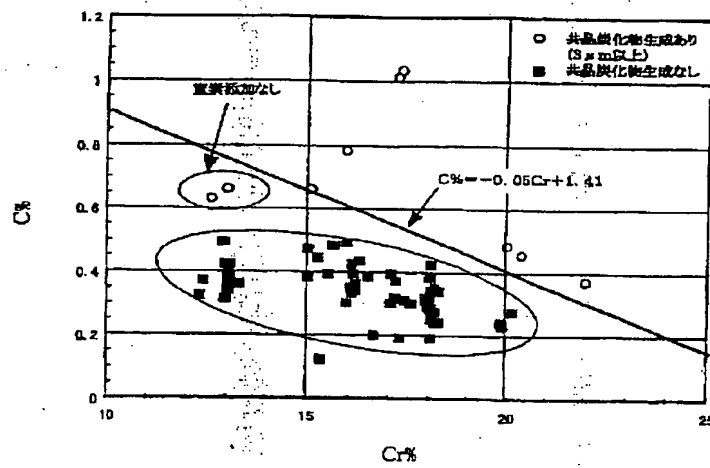
【図4】



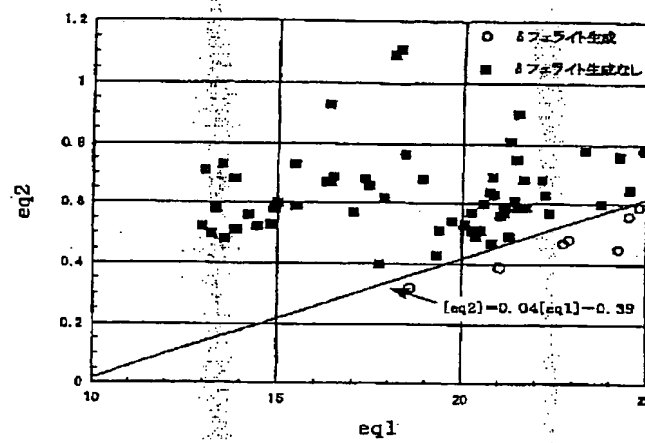
【図5】



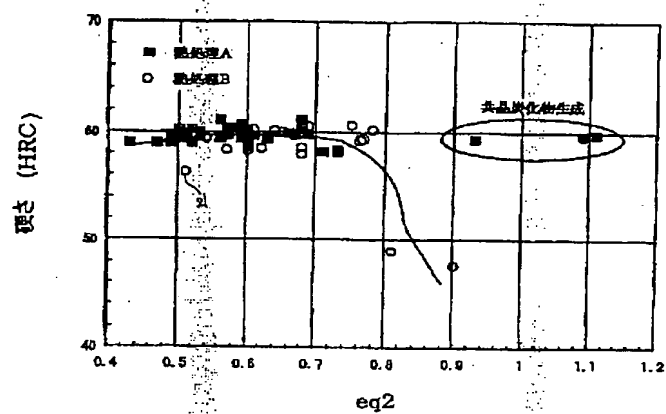
【図6】



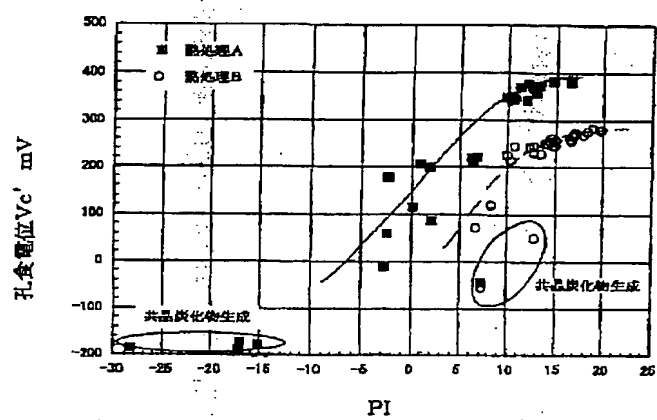
【図7】



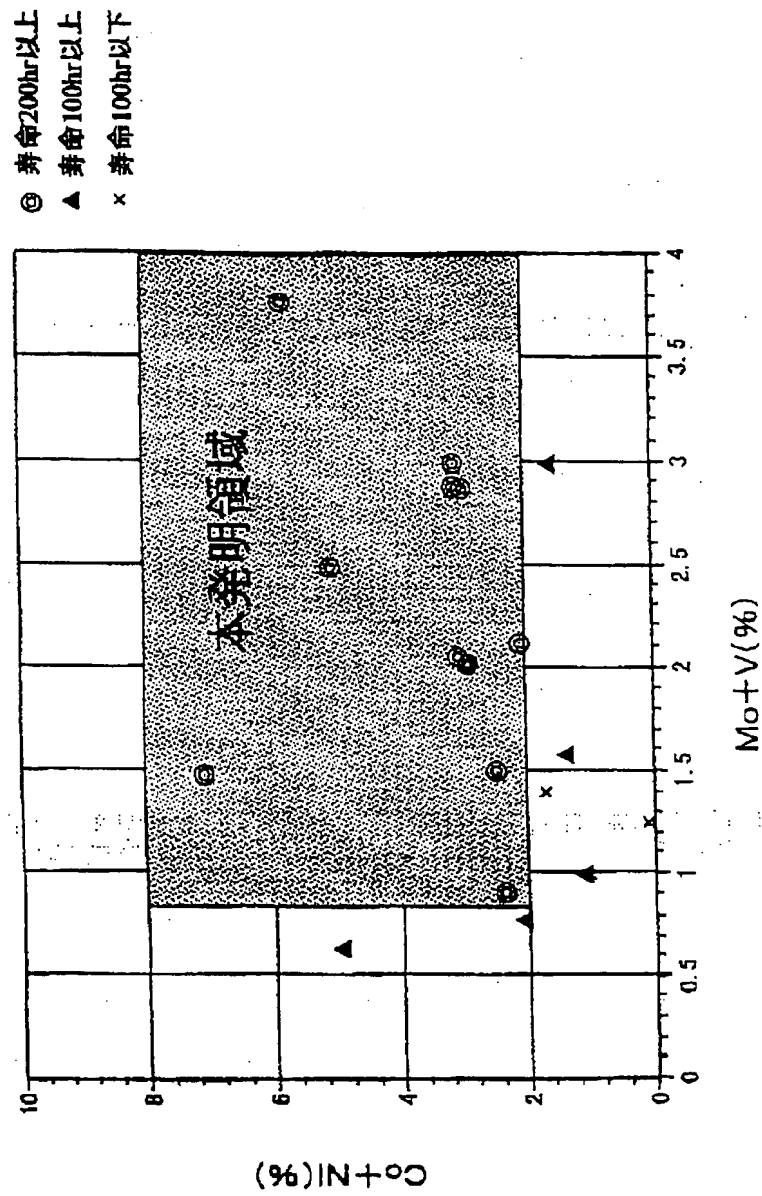
【図8】



【図9】



【図10】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record.**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

## **IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**